Profile indonesischer Schüler beim Umgang mit Algorithmen und ihre Analyse

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Naturwissenschaften
des Fachbereiches Mathematik
der Universität Osnabrück

vorgelegt von

Yansen Marpaung

Osnabrück, im Dezember 1985

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Erforschung von Denkprozessen indonesischer Schüler in einem speziellen Gebiet, nämlich dem algorithmischen Denken. Die Schüler wurden in Yogyakarta - Indonesien untersucht, in Osnabrück - BRD wurde über sie nachgedacht. Ich möchte kurz aufzeigen, wie es zu einer solchen Konstellation gekommen ist.

Seit 1974 bin ich an der IKIP Sanata Dharma als Dozent für Mathematik tätig gewesen. Die IKIP Sanata Dharma ist eine katholische, von Jesuiten geleitete Hochschule für Lehrerausbildung in Yogyakarta.

Seit der Unabhängigkeit befindet sich Indonesien in einem bemerkenswerten, rasanten Aufschwung, der letztlich und auf Dauer nur von einem verbesserten Bildungssystems getragen werden kann. Neben der dringend notwendigen quantitativen Ausweitung des Bildungssystems stellt sich immer deutlicher das Problem einer eigenen qualitativen Verbesserung.

Anfang der 80er-Jahre faßte der Senat unserer Universität den Beschluß, die weiteren Investitionen so auszurichten, daß sie sich in einer Steigerung der Qualität der Lehrerausbildung niederschlagen werden. Unter Führung des damaligen Rektors, Prof.Dr.Kadarman S.J. kam das Kollegium zu der Entscheidung, den Versuch zu unternehmen, das Dozentenkollegium stärker hinsichtlich von Möglichkeiten wissenschaftsorientierter Lehrerausbildung fortzubilden. Für dieses zukunftsweisende Modernisierungprogramm suchte unsere Hochschule Partner und fand sie im katholischen Hilfswerk Misereor in Aachen. Die zugesagte Unterstützung bezog sich u.a. ausdrücklich auf Maßnahmen zur Qualifizierung einiger indonesischer Dozenten. Im Sommer 1981 wurden wir von Prof.Dr.Konrad Hartong und Dr.Rudolf Schepers vom Fachbereich Erziehungswisenschaften der Universität Osnabrück beraten, wie im einzelnen dieser Schritt in die Zukunft beschritten werden könne. Es wurde beschlossen, daß ich selbst einer derjenigen indonesischen Dozenten sein sollte, der durch eine längeren Forschungsaufenthalt im Ausland und die Möglichkeit zur eigenen wissenschaftlichen Qualifizierung den gewünschten Beitrag für die Weiterentwicklung der Lehrerbildung an unserer Hochschule leisten könne.

Mein erster Dank gilt deshalb meinem damaligen Rektor, Pater Kadarman, dem katholischen Hilfswerk Misereor und Herrn Prof. Hartong dafür, daß sie mir diesen Weg zum Fortschritt gezeigt haben sowie die finanziellen Bedingungen dafür geschaffen und mir persönlich diesen Weg ermöglicht haben.

Mein Weg direkt nach Osnabrück wurde aber erst möglich durch eine Zusage von Prof.Dr. Elmar Cohors-Fresenborg und seiner Mitarbeiterin Inge Schwank, die gemeinsam den Mut gefaßt hatten, die Verantwortung für meine Weiterbildung zu übernehmen.

Im Oktober 1982 konnte ich schließlich mein Studium an der Universität Osnabrück aufnehmen. Die Mitarbeiter von Prof. Cohors-Fresenborg, insbesondere damals Frau Schwank und Frau Kaune, haben mir große Hilfestellung geleistet, mich in diesem neuen Kulturkreis zurechtzufinden und ein Mitglied ihrer Forschungsgruppe zu werden. Dort habe ich Zugang gefunden zu einer neuen, aufregenden Art mathematikdidaktischer Forschung. Mit der vorliegenden Arbeit habe ich mich bemüht, eine Beitrag in ihrer Forschungsrichtung zu leisten.

Im Sommer 1983 war ich zum ersten Mal wieder in Yogyakarta, um mit einer Gruppe von Schülern eine Pilotstudie durchzuführen. Ich möchte Frau Kaune, die damals an ihrer eigenen Dissertation mit einem ähnlichen Thema arbeitete, dafür danken, daß sie sich um meine apparative und konzeptionelle Ausstattung in einer Weise gekümmert hat, daß diese dem Versuch in Indonesien gewachsen war. Frau Schwank danke ich, daß sie mich - neben ihrer Arbeit an ihrer mathematischen Dissertation - beim schwierigen Start in der ersten Phase der Untersuchung vier Wochen lang so geduldig und wirkungsvoll vor Ort in Indonesien betreut hat.

In den folgenden zwei Jahren hatte ich durch intensive Kontakte mit den Mitgliedern der Forschungsgruppe die Möglichkeit, mein Untersuchungsdesign auf der Grundlage der erhobenen Auswertung zu vervollkommnen. Im Sommer 1984 habe ich dann meine Hauptuntersuchung in Indonesien durchgeführt und konnte direkt an der IKIP Sanata Dharma zusammen mit Prof. Cohors-Fresenborg Strategien zur Bewältigung der verschiedensten auftretenden Schwierigkeiten entwickeln sowie vor dem Hintergrund meiner Untersuchungseindrücke sich abzeichnende Pläne für die Zukunft diskutieren.

Es war eine schwierige Aufgabe, aus den vielen Videobändern von den Problemlösesitzungen mit den indonesischen Schülern eine Konzeption für meine Arbeit zu erstellen und die Fülle des Datenmaterials auszuwerten. Ein ganz besonderes Problem lag für mich darin, die sich formenden Gedanken in der deutschen Sprache auszudrücken. Frau Dr.Schwank, die in dieser Zeit Leiterin des Forschungsinstituts für Mathematikdidaktik in Osnabrück war, für ihre "Hebammendienste" (Mäeutik) dengan ichlas saya ucapkan Terima-Kasih banyak!

Nicht zuletzt haben die Diskussionen mit der zweiten Forschungsgruppe zur Mathematikdidaktik an der Universität Osnabrück, die unter Leitung von Frau Prof. Ursula Viet steht, dazu beigetragen, mir meine eigene Welt der mathematikdidaktischen Forschung zu erweitern.

Neben der konzeptionellen Arbeit ist für eine empirische Untersuchung der Anteil der praktischen Tätigkeit nicht zu unterschätzen. Ich möchte dem Fachbereich Mathematik/Informatik der Universität Osnabrück danken, daß er mir seine Ressourcen zur Verfügung gestellt hat. Mein Dank gilt hier Frau Lock-Wiegand und besonders Frau Galle; sie haben es in der letzten Phase meiner Arbeit ermöglicht, daß die von mir geäußerten Gedanken in Form von Text und Zeichnung zu lesen sind.

Drei Jahre in einem fremden Kulturkreis vor einer schwierigen, oftmals unlösbar erscheinenden Aufgabe, sind eine lange und harte Zeit. Ich möchte allen sehr herzlich danken, die es mir ermöglicht haben, diese Zeit zu einem guten Abschluß zu bringen.

Hier denke ich insbesondere an meine Frau
Rr. Rahayu Ernawati,

meine Töchter
Sezy Prameswari, Dhinny Wisnuwardhany,
Cindy Kristanti,

und meinen Sohn
E. Hendracaroko.

Ich hoffe, daß die jetzt vorliegende Arbeit einen kleinen Beitrag zu einer Neuorientierung der mathematikdidaktischen Forschung als Teil indonesicher Lehrerausbildung an unserer Hochschule in Yogyakarta leisten wird. Ich danke dem seit 1984 amtierenden neuen Rektor Prof.Drs. Danuwinata S.J. dafür, daß er mir in der letzten schwierigen Phase meiner Arbeit das Gefühl vermittelt hat, daß meine Bemühungen auch Teil seines Konzeptes zur Weiterentwicklung der Lehrerbildung in Indonesien sind.

Osnabrück im Dezember 1985

1. Einführung

Eine der Aufgaben der Mathematikdidaktik als interdisziplinäre Wissenschaft (COHORS-FRESENBORG 1983a,STEINER 1984) ist es, das mathematische Denken von Schülern zu erklären mit dem Ziel einer Verbesserung des Mathematikunterrichts in der Schule. Gegenstand der Mathematikdidaktik als Fachdidaktik ist alles das - so beschreibt BIGALKE (1978, S. 104-105) -, was zum Mathematikunterricht in jeglicher Form, was zum Lehren und Lernen von Mathematik gehört. Im Zusammenhang mit dieser Aufgabe soll die Forschung in Mathematikdidaktik einen Beitrag dazu leisten, das Lernen von und den Umgang mit Mathematik zu erklären und daraus Konsequenzen für den Mathematikunterricht in der Praxis zu ziehen. Die Komplexität und damit die Schwierigkeit der Mathematikdidaktik liegt in ihrer Interdisziplinarität. Der Lehrer muß verschiedene Aspekte (mathematische, psychologische, pädagogische) verknüpfen, um sein Ziel, "guten Mathematikunterricht", verwirklichen zu können. Dem Forscher stellt sich ein breites Aufgabenfeld.

In den letzten 20 Jahren bemühten sich nicht nur Mathematikdidaktiker, sondern auch Psychologen, das mathematische Denken bzw. das Denken beim Umgang mit Mathematik zu erforschen. KRUTETSKII (1976) etwa, einer der bekannten sowjetischen Psychologen, untersuchte 11 Jahre lang (1955-1966) die mathematische Fähigkeit von Kindern. Er beschreibt über 9 Komponenten der mathematischen Fähigkeiten, u.a. Formalisieren, Abstrahieren, Verallgemeinern, Operieren, logisches Argumentieren. Für unsere Arbeit von besonderem Interesse sind seine Ausführungen dazu, daß "the algorithmic quality of the solution to many of its problems" ein wichtiger Aspekt mathematischen Denkens ist. Er schreibt (S.87): "An algorithm, as is well known, is a definite indication about which operations to perform and in what sequence to solve any problem of certain type. An algorithm is a generalization, since it is applicable to all problems of the appropriate type. Of course, a very large number of problems are not algorithmized and are solved by special methods. Therefore the ability to find a course of solution that would not be appropriate under a standard rule is one of the essentials in mathematical thinking".

KILPATRICK (1984) klassifiziert die Entwicklung der Ausbildung unter dem Aspekt von Technologie folgendermaßen:
"Each age defines education in terms of the meanings it gives to teaching and learning, and those meanings arise in part from the metaphors used to characterize teachers and learners. In the ancient world, one of the defining technologies (BOLTER 1984) was the potter's wheel. The student's mind became clay in the hands of the teacher. In the time of Descartes and Leibniz, the defining technology was the mechanical clock. The human being became a sort of clockwork mechanism whose mind either was an immaterial substance separate from the body (Descartes) or was itself a programmed mechanism (Leibniz). The mind has also, at various times, been modeled as a wax tablet, a steam engine, and a telephone switchboard.
We live today in the age of the electronic computer, and that technology has served the shape much of our thinking about how education can and should proceed. We speak of thinking as "information processing" and of teaching and learning as "programming", "assembly" or "debugging". A whole field of cognitive science has developed that attempts to capitalize on the power of the computer metaphor for understanding cognition".

Der große Einfluß der Entwicklung der Technologie auf die Denkweise der Menschen über die Jahrhunderte hinweg wird in dieser Darstellung nachgezeichnet. Sie verändert die Ausbildung allgemein, nicht nur in der Universität, sondern auch in der Schule. Die Entwicklung des Computers wird sich nicht zuletzt immer stärker auf den Mathematikunterricht auswirken. Das bedeutet, daß der Begriff "Algorithmus" eine immer wichtigere Rolle spielen wird. Er wird schon bald ein fester Bestandteil des mathematischen Curriculums in der Schule geworden sein. Es ist Aufgabe der Mathematikidaktik, sich dieser Entwicklung anzunehmen und diese zu leiten.

Unser kleiner Beitrag dazu ist, durch experimentelle Forschung Wissen über das Denken der Menschen beim Umgang mit Algorithmen zu schaffen und zu erweitern. Wir teilen die Auffassung, im Denken in Algorithmen einen Teilaspekt des mathematischen Denkens zu sehen. Bislang ist dieser Teilaspekt des mathematischen

Denkens noch nicht stark untersucht worden. Es gibt einige Untersuchungen zum Problemfeld der Verwendung von Computern beim Lernen von Mathematik. Wir setzen uns mit den Algorithmen selbst auseinander: d.h. damit, wie die Kinder beim Konstruieren und Analysieren von Algorithmen denken. Wir hoffen so, daß wir eine didaktische Vorstellung über das Lernen von Algorithmen bekommen, die für den zukünftigen Mathematikunterricht (nicht nur) in Indonesien nützlich ist.

Die Schwerpunkte unserer Untersuchung sind:

1. Wie verhalten sich indonesische im Vergleich zu deutschen Schülern bei der Bearbeitung von Aufgaben über Algorithmen?
2. Welche Rolle spielen verschiedene Repräsentationsformen bei der Auseinandersetzung mit Algorithmen?
3. Gibt es Unterschiede im Denken beim Lösen konstruktiver und analytischer Aufgaben?
4. Welche Strategien und kognitiven Stile entwickeln Schüler beim Umgang mit algorithmischen Begriffen?
5. Welche Rolle spielen Strategien und kognitive Stile in Bezug auf die Leistung der Schüler beim Lösen algorithmischer Probleme?

Unsere Untersuchung ist eine explorative Studie. Wir wollen versuchen, einen Beitrag zum Verständnis der geistigen Mechanismen zu leisten, wie es COHORS-FRESENBORG (1983a) als ein Ziel mathematikdidaktischer Forschung beschreibt. Wie sich in unseren Voruntersuchungen mit indonesischen Schülern gezeigt hat und aus den einschlägigen Untersuchungen mit deutschen Schülern bekannt ist, verhalten sich diese Schüler beim Umgang mit Algorithmen sehr verschieden. Eine Leistungsdimension reicht zur Erklärung nicht aus. Wir sind deutlich der Auffassung, daß die verschiedenen Verhaltensweisen in ihren Charakteristika und in ihren Unterschieden zueinander derzeit am vielleicht überzeugendsten dadurch erklärt werden können, daß sie Resultat sind von unterschiedlichen geistigen Werkzeugen, die noch dazu unterschiedlich eingesetzt werden. Wir haben uns darauf eingelassen, diese Idee in einem wichtigen Teil unserer

Auswertung ein Stück auszuprobieren. Wir werden zeigen können, daß bei einer Konkretisierung die Verhaltensweisen der Schüler erklärbarer werden.

Im Verlauf der Analyse der Schülerverhaltensweisen stellte sich heraus, daß die einzelnen Schüler außerordentlich genau analysiert werden müssen, um eine schlüssiges Bild im Sinne unserer Idee zu erhalten. Daraus ergab sich, daß wir uns nur sehr wenige Schülerindividuen für diese Arbeit vornehmen konnten. Unsere wichtigen Ergebnisse liegen im "Detail", beim Wiederfinden bestimmter den einzelnen Schüler charakterisierenden Verhaltensweisen. Dagegen können wir aufgrund unserer kleinen und nicht repräsentativen Stichprobe zur Zeit noch keine allgemeingültigen Aussagen über das Verhalten indonesischer Schüler machen. Dies wird Aufgabe zukünftiger Untersuchungen sein. Vor diesem Hintergrund haben wir uns entschlossen als Titel dieser Arbeit zu wählen: **"Profile indonesischer Schüler beim Umgang mit Algorithmen und ihre Analyse".**

Wir vertreten sehr wohl die Auffassung, daß es uns gelungen ist, mit den Interpretationen der Verhaltensweisen spezieller Schüler mehr Klarheit geschaffen zu haben bei der Frage nach möglichen stabilen Verhaltensweisen bei Schülern, wenn diese mit Algorithmen umgehen. Die von uns verwendeten Bausteine tragen sehr allgemeinen Charakter. Es scheint weder sinnvoll anzunehmen, daß ihre Verwendung begrenzt ist auf den Umgang mit Algorithmen noch, daß sie hochindividuell und hier einzigartig in Erscheinung getreten sind.

Die von uns durchgeführte Studie ist im Zusammenhang mit einer Untersuchung zu sehen, die KAUNE (1985a,b,c) zum gleichen Bereich mit deutschen Schülern durchgeführt hat. Während meiner Vorarbeiten hatte ich Gelegenheit, an ihren Pilotstudien mitzuarbeiten. Es bot sich an, das Design für meine Untersuchungsstunden so zu wählen, daß es - unter Berücksichtigung indonesischer Verhältnisse - einen möglichst großen gemeinsamen Teil mit dem Design von KAUNE hatte. Auf diese Weise wollten wir diese Untersuchung auch unter dem Aspekt eines interkulturellen Vergleichs durchführen.

2. Planung und Durchführung der Untersuchung

2.1 Beziehungen der Untersuchung zu einem größeren Forschungszusammenhang.

Die hier dargestellten Untersuchungen sind Teil eines größeren Forschungsprojektes, welches seit einigen Jahren an der Universität Osnabrück unter Leitung von Professor Cohors-Fresenborg durchgeführt wird. Im Mittelpunkt des Interesses steht die Frage, wie Schüler (der Sekundarstufe I) grundlegende algorithmische Begriffe bilden. Da die hier vorgelegte Untersuchung sich als Teil dieses größeren Forschungsvorhabens versteht, soll zunächst der Stand der Forschung in dieser Arbeitsgruppe vorgestellt werden. Wir gliedern unsere Darstellung in zwei Abschnitte über die Entwicklung der Lehrmittel REGISTERMASCHINE und DYNAMISCHE LABYRINTHE einschließlich dazugehöriger Curriculumelemente und denkpsychologisch orientierter Forschung über Denkprozesse von Schülern beim Umgang mit Algorithmen.

2.1.1 Registermaschine

Die Arbeiten begannen im Bereich der Stoffdidaktik 1972 mit dem Ziel, Schülern des Gymnasiums im Rahmen des Mathematikunterrichts vom mathematischen Standpunkt aus einen Einblick in Grundprobleme der Informatik zu geben. Zu diesem Zweck wurde das Konzept der Registermaschine als ein Beispiel für eine idealisierte Rechenmaschine didaktisch aufgearbeitet (COHORS-FRESENBORG 1972, 1973a). Obwohl sich schon Hinweise fanden, wie dieses Konzept sich zur Einführung des Funktionsbegriffs in der Mittelstufe eignen könnte, lag das Schwergewicht doch auf einem eigenständigen Leistungskurs im Rahmen der reformierten gymnasialen Oberstufe (COHORS-FRESENBORG 1973b,c). Da zum damaligen Zeitpunkt die Gymnasien noch nicht über leistungsfähige Kleinrechner verfügten, war dieses Konzept theoretisch ausgerichtet. Programme für die Registermaschine wurden von Hand durchgerechnet. Ziel des Konzeptes war es, beim Schüler geeignete Modellvorstellungen aufzubauen; die Erfahrung mit der Wirkungsweise von Maschinen war bei diesem Konzept leider nicht zu vermitteln. Auch die Simulation einer Registermaschine auf dem damals in den Schulen gebräuchlichen Lehrmittel SIMULOG brachte dem Schüler nur die prinzipielle Erfahrung, das sich ein solches Konzept als Modell von Rechenmaschinen eignet (COHORS-FRESENBORG/REIMERS 1975). Zur gleichen Zeit gelang es dann CARSTENSEN (1975), auf der Basis von MOS-Technik eine funktionsfähige Registermaschine zu bauen. Eine weiterentwickelte Version wurde dann in je einem Exemplar für die Universitäten Münster und Osnabrück von CARSTENSEN gebaut. Diese Registermaschine verfügte über 5 Register, von denen eines als Schrittzahlzähler umgestellt werden konnte. Die maximale Länge der bearbeitbaren Programmworte betrug 31 Zeichen (dabei zählte etwa A_4 als 1 Zeichen). Die Anzeige von Programmworten, Registerinhalten und Schrittzahlen erfolgte über 7 - Segment - Anzeigen. Die taktweise Abarbeitung des Programmwortes war dadurch zu verfolgen, daß über dem gerade bearbeiteten Programmbuchstaben eine Leuchtdiode aufleuchtete. Die Rechnung der Registermaschine konnte an beliebiger Stelle unterbrochen werden, die Rechengeschwindigkeit durch ein Potentiometer gesteuert werden.

Mit diesen beiden Registermaschinen begannen umfangreiche Schulerprobungen in der Sekundarstufe I, z.B. als eigenständige Unterrichtsreihe in Klasse 8 der Realschule (CARSTENSEN 1978) oder als Abschluß von Unterrichtsreihen, bei denen in Klasse 5 (Orientierungsstufe) mit dem Lehrmittel Dynamische Labyrinthe gearbeitet worden war (SPITZMANN 1977).

Der Erfolg solcher Versuche weckte schon bald den Wunsch nach weiteren Registermaschinen. Die aufkommende Mikroprozessortechnik ermöglichte es, eine neue Generation von Registermaschinen zu bauen. Nach umfangreichen Entwicklungsarbeiten wurden 1978 die ersten beiden Maschinen dieser neuen Generation (auf der Basis eines Mikroprozessors 8080) von der Elektronikwerkstatt des Fachbereichs Physik der Universität Osnabrück fertiggestellt. Diese Maschinen ermöglichten einen wesentlichen Fortschritt in der Konzeption: die Sprache der Registermaschine wurde um die Möglichkeit erweitert, Unterprogramme zu definieren. Die Handhabung in der Schule wurde dadurch verbessert, daß diese Maschine die Möglichkeit bot, die Rechnung auf einem großen Monitor zu verfolgen. Die Registermaschine hatte nun 9

Register, von denen eines als Schrittzahlregister benutzt werden konnte. Außerdem zeigte sie Kommentare zu Syntaxfehlern an. Die Unterprogramme durften ineinander verschachtelt sein, während der Rechnung waren bis zu 4 Unterprogrammebenen gleichzeitig sichtbar.

Mit dieser neuen Registermaschine erfolgten umfangreiche Unterrichtsversuche, aus denen ein Heft für Schüler (Klasse 7/8 des Gymnasiums) zur Einführung des Funktionsbegriffs auf der Grundlage von Algorithmen entstanden ist (COHORS-FRESENBORG/GRIEP/SCHWANK 1979, 3. neubearbeitete Auflage 1982), mit Lösungen der Übungsaufgaben (KAUNE/SCHWANK 1982). 1982 erfolgte eine englische Übersetzung des "Schulbuches". Das sehr ausführliche Lehrerhandbuch enthält neben den mathematischen Grundlagen und didaktischen Analysen auch eine ausführliche methodische Ausarbeitung in Form von Stundenentwürfen für 20 Unterrichtsstunden (COHORS-FRESENBORG/GRIEP 1982) .

Dieses "Schulbuch" bringt nicht nur ein grundlegendes Verständnis der Programmierung von Computern, sondern mit dem Begriff "Schrittzahlfunktion" auch eine Einführung in das Verständnis der Komplexität von Algorithmen. Die Erweiterung der Registermaschinensprache um Unterprogramme wird benutzt zu einem Nachdenken über Syntax und Semantik von Programmiersprachen.

Da wir in unseren Untersuchungen den Schülern wiederholt die Aufgabe stellen, Programme für Registermaschinen zu schreiben, zitieren wir hier aus dem "Schulbuch" (Seite 45/46) die Sprache für die Registermaschine:

Zusammenfassung unserer Grammatikregeln

1) A_i, S_i $(1 \leq i \leq 9)$ sind korrekte Programme.

2a) Sind P und Q korrekte Programme,
dann auch deren *Verkettung*: PQ.

2b) Ist P ein korrektes Programm,
dann auch dessen *Iteration*: $(_i P)$.

Die zum angenehmeren Programmieren eingeführte Verwendung von Unterprogrammen haben wir bis jetzt ganz außer acht gelassen.
Längere, grammatikalisch korrekte Programme werden übersichtlicher, wenn wir nicht alle Programmteile ausschreiben, sondern dafür Abkürzungen in der vereinbarten Form (siehe Kapitel 5) verwenden wie zum Beispiel bei $(_1 S_3 K_3 \langle 2 \rangle)$.

Wir haben damit die *RM-Sprache* erweitert. Die *Erlaubnis* dazu verschaffen wir uns, indem wir in unserer Grammatik die Regel 1 erweitern: In einem Programm sollen auch Unterprogramme an Stelle von Elementarbefehlen stehen dürfen:

1*) A_i, S_i $(1 \leq i \leq 9)$

und *korrekte Abkürzungen* (für Unterprogramme)

sind korrekte Programme.

Jetzt müssen wir noch erklären, was wir unter "korrekten Abkürzungen" verstehen wollen.

Merke: Korrekte Abkürzungen bestehen der Reihe nach aus
1) einem Buchstaben als Namen (nicht zwei oder gar noch mehr);
2) einer Fußnote an dem Namen, die eine Ziffer von eins bis neun oder ein Buchstabe sein darf;
3a) einer spitzen Klammer auf;
b) durch Komma getrennten Registernummern;
c) einer spitzen Klammer zu.

Eine Ausnahme dieser Vereinbarung ist die Abkürzung für das Löschprogramm.

Mit der Abarbeitung eines grammatikalisch korrekten Programms beginnt die RM anstandslos. Aber sie kommt nicht weit, wenn wir in unserem Programm Abkürzungen benutzt haben. Sie weiß mit diesen nichts anzufangen.Erst braucht sie in weiteren Zeilen eine vollständige Erklärung jeder Abkürzung durch ein grammatikalisch korrektes Programm. Dadurch werden diese Programme endlich bearbeitungsreif, oder wie wir sagen, *lauffähig*.

Ein Programm ist aber nur dann lauffähig, wenn es in eine Bildschirmzeile paßt, das heißt, es darf maximal aus 32 Zeichen bestehen. Aus diesem Grunde können in den Abkürzungen für Unterprogramme höchstens zwölf Registernummern auftreten. Da es aber nur neun Register gibt, wird man auch nicht mehr als diese angeben. Für die von uns zu bearbeitenden Probleme ist es zweckmäßig, nur eine oder zwei Registernummern anzugeben, da wir meistens nur mit einem oder zwei Registerinhalten rechnen.

Mache Dir klar, daß jedes lauffähige Programm erst recht grammatikalisch korrekt ist!

Merke: Vollständige Erklärungen bestehen aus

1. <u>einer</u> korrekten Abkürzung
2. <u>einem</u> Gleichheitszeichen (=)
3. <u>einem</u> grammatikalisch korrektem Programm.

In unserem Beispiel etwa: $K_i\langle j\rangle = T_h\langle j\rangle({}_hS_hA_iA_j)$

Beim Aufbau eines Programmwortes beginnen wir mit den einfachen Programmen (1) und wenden dann nach Belieben die Regel der Verkettung (2a) und der Iteration (2b) an.
Haben wir ein fertiges Programmwort vorliegen, das wir auf seine Richtigkeit hin überprüfen wollen, lassen wir diesen Vorgang rückwärts abrollen bis wir schließlich wieder bei den einfachen Programmen S_i,A_i ankommen, die nach (1) erlaubt sind.

Zu dieser Sprache wollen wir noch folgendes anmerken: Bei den Namen für die Register handelt es sich im Sinne der Programmiersprache PASCAL um globale Variable. Die in der Registermaschinensprache bei der Definition von Unterprogrammen in der Abkürzung aufgeführten Variablen entsprechen in der Sprache PASCAL den im Prozedurkopf genannten Parametern; die in der Abkürzung für das Unterprogramm nicht vorkommenden (aber benutzten) Variablen, die sogenannten Hilfsregister entsprechen in PASCAL (eher) den lokalen Parametern. In der Registermaschinensprache werden beim Benutzen eines aufgerufenen Unterprogramms alle Variablen durch passende Registernamen ersetzt, d.h. im Sinne von PASCAL werden es globale Variablen. Dabei sucht die Registermaschine zur Ersetzung von Hilfsvariablen die kleinste Registernummer aus, die in diesem Unterprogramm nicht vorkommt und deren Registerinhalt im Augenblick der Ersetzung gleich null ist. Hier liegt also ein Unterschied zum Konzept der lokalen Parameter in PASCAL vor. Abschließend soll zur Sprache der Registermaschine noch bemerkt werden, daß es durchaus möglich ist, Unterprogramme rekursiv zu definieren. Bei der Abarbeitung eines rekursiv definierten Unterprogramms kann man dann am Bildschirm sehr schön verfolgen, wie die Registermaschine den Rekursionskeller aufbaut (vgl.COHORS-FRESENBORG 1979, S.142/143 oder 1981, S.96/97).

Von dieser Registermaschine wurden, teilweise in technisch verbesserter Form (Prozessor 8085), insgesamt etwa 15 Maschinen gebaut und im In- und Ausland bei Unterrichtsversuchen eingesetzt. Bei meinen Untersuchungen in Indonesien kam eine solche Maschine zum Einsatz, bei der nicht nur der Fehlerkommentar auf indonesisch erfolgte, sondern auch die Bezeichnungen für Vorwärts- und Rückwärtszählen geändert waren: z.B. J (für Jumlah), statt A (für Addition).

Als vorläufigen Abschluß des Konzepts der Registermaschine entwickelte das Forschungsinstitut für Mathematikdidaktik e.V. in Osnabrück 1984 eine Simulation der Registermaschine für den Computer APPLE. Mit diesem auf Diskette verfügbaren System ist jetzt nicht nur eine mühelose Verbreitung gewährleistet, sondern es wurde auch die Gelegenheit genutzt, die Möglichkeit zum

Speichern selbst definierter Unterprogramme einzubauen.

Neben den Versuchen, in Klasse 7 und 8 die Registermaschine zur Einführung des Funktionsbegriffs und grundlegender Modellvorstellungen über Computer zu benutzen, sollen noch ein Versuch erwähnt werden, in der reformierten Oberstufe in Klasse 12 im Rahmen eines Leistungskurses Mathematik das Konzept der Registermaschine und der berechenbaren Funktionen mehr unter dem Aspekt einer theoretischen Informatik zu unterrichten (DORNBUSCH/PINKE 1979).

2.1.2 Dynamische Labyrinthe

Parallel zur Entwicklung des Konzeptes der Registermaschine begannen Überlegungen, wie schon Grundschülern ein grundlegendes Verständnis automatisch ablaufender Steuerungsprozesse gegeben werden könnte. 1974 wurde von Prof. Cohors-Fresenborg (damals noch an der Pädagogischen Hochschule Flensburg) das Lehrmittel DYNAMISCHE LABYRINTHE entwickelt. Die grundlegende Idee besteht darin, daß sich vom mathematischen Standpunkt aus das Netz einer Spielzeug-Eisenbahn, in dem nur ein Zug in eine Richtung fährt, als ein sequentielles Netzwerk einfacher Automaten auffassen läßt. Die mathematische Theorie der Netzwerke sequentieller Automaten war Ende der 60er Jahre von RÖDDING am Institut für mathematische Logik und Grundlagenforschung der Universität Münster angeregt worden. OTTMANN (1973) bewies u.a. einen Basissatz, der besagt, daß sich jeder endliche Automat durch ein Netzwerk aus einfachen Automaten simulieren läßt. Dazu sind (in den Bezeichnungen der Dynamischen Labyrinthe) nur die Bausteine Einmündung und Weiche notwendig. Durch Hinzunahme eines Registerbausteins lassen sich beliebige Algorithmen über natürlichen Zahlen realisieren. Zur Simulation einer universellen 2-Registermaschine reichen 2 solcher Registerbausteine aus, das Programm wird durch ein Netzwerk aus Einmündungen und Weichen realisiert (COHORS-FRESENBORG 1977, S. 124-127).

Im Baukasten Dynamische Labyrinthe sind auch zwei sog. Zähler enthalten, welche Registerbausteine mit den Zuständen 0-10 darstellen. Mit diesen Zählern können schon Grundschüler funktionsfähige Flußdiagramme für die 4 Grundrechenarten bauen. Schon 1974 begannen in Flensburg entsprechende Versuche im 2.-4. Schuljahr (MUXFELDT 1975, COHORS-FRESENBORG 1976).

1976/77 wurden umfangreiche Versuche mit dem Lehrmittel Dynamische Labyrinthe im 5. Schuljahr durchgeführt. Über einen Einsatz im 5. Schuljahr der Realschule berichtet SPITZMANN (1977). COHORS-FRESENBORG (1978) berichtet von einem Schulversuch, an dem die Schüler von 17 Klassen des 5. Schuljahrs (der Orientierungsstufe) nach dem gleichen Konzept unterrichtet wurden und den gleichen Abschlußtest zu absolvieren hatten. In diesem Aufsatz finden sich auch erste Hinweise zu empirischer Forschung. So wird z.B. berichtet, daß bezüglich der Leistungsdimension in diesem Abschlußtest kein Unterschied zwischen Jungen und Mädchen zu beobachten war.

Bei diesen umfangreichen Schulerprobungen hatte es sich gezeigt, daß das Arbeitstempo der Schüler bei der Bearbeitung der gestellten Problemlöseaufgaben sehr unterschiedlich war, ohne daß man daraus in jedem Fall auf die zum Schluß erbrachte Leistung schließen konnte. Es wurde deshalb beschlossen, für diese 4-6wöchige Unterrichtsreihe eine Fassung in der Form von programmierter Unterweisung zu entwickeln (COHORS-FRESENBORG/ FINKE/SCHÜTTE 1979). Die Untersuchungen zeigten dann auch, daß Schüler das von ihnen individuell zu wählende Lerntempo zu schätzen wußten. Neben dem Einsatz im Unterricht diente die Folge von 9 Heften für programmierten Unterricht und das dazugehörige Lehrerhandbuch auch der Lehrerfortbildung. Unabhängig von der Teilnahme an besonderen Kursen konnte man sich so mit dieser neuartigen Gedankenwelt und der Art, wie ein entsprechender problemorientierter Unterricht zu konzipieren sei, vertraut machen. Da auch im Ausland Interesse herrschte, entstanden in den folgenden Jahren zunächst eine Übersetzung ins Englische (1982), ins Chinesische (1983) und ins Holländische (1984). Seit 1983 werden die Dynamischen Labyrinthe in einem großangelegten Schulversuch in Italien eingesetzt, der unter Leitung von Frau Prof. Fasano in Rom steht. Schon früher hatte sich die von Prof. Lowenthal an der Universität Mons in Belgien geleitete Arbeitsgruppe mit dem Einsatz der Dynamischen Labyrinthe an Grundschulen mit dem Ziel beschäftigt, die besonderen Möglichkeiten zur nonverbalen Begriffsbildung, die in diesem Unterrichtsmaterial liegt, zu nutzen (LOWENTHAL/MARCQ 1980, 1982). In dieser Arbeitsgruppe wurde dann auch ein beeindruckender Versuch gestartet, mit einem aphasischen Schüler zu zeigen, daß dieser in der Lage ist, Grundkonzepte von Automaten zu verstehen (LOWENTHAL 1985, LOWENTHAL/SAERENS 1986).

2.1.3 Denkprozesse von Schülern beim Umgang mit Algorithmen

Die umfangreichen Schulerprobungen der Unterrichtsreihen mit den Materialien DYNAMISCHE LABYRINTHE und REGISTERMASCHINE, wie sie in den beiden vorhergehenden Abschnitten beschrieben worden sind, gaben Anlaß, die Frage der algorithmischen Begriffsbildung von Schülern und die Denkprozesse beim Umgang mit Algorithmen näher experimentell zu untersuchen. Diese Untersuchungen bezogen sich sowohl auf die Begriffsbildung als auch auf die Problemlösestrategie. Eine Grundthese zum Verständnis der algorithmischen Begriffsbildung war, daß das Kernproblem beim Programmieren in der Organisation von Handlungssequenzen liegt, die ein Computer auszuführen hat (COHORS-FRESENBORG 1982). Von besonderem Interesse war dabei die Frage, welche Rolle verschiedene Repräsentationen algorithmischer Begriffe spielen.

Schon der ersten Ausgabe des Schulbuches "Registermaschinen und Funktionen" 1979 lag die Idee zugrunde, daß das Hantieren mit Stäbchen (oder Streichhölzern), die Konstruktion eines Rechennetzes und die Darstellung eines Algorithmus als Programmwort für Registermaschinen drei verschiedene Repräsentationen des gleichen Begriffs darstellen. Lange Zeit wurde aber davon ausgegangen, daß die eben genannte Reihenfolge auch eine Hierarchie (enaktiv, ikonisch, symbolisch) der Begriffsbildung darstellt (z.B. COHORS-FRESENBORG 1983b). Erst durch die umfangreichen Untersuchungen von KAUNE (1985b) und uns konnte gezeigt werden, daß es sich dabei um eine voreilige Theorie handelt. Das Hantieren mit Stäbchen und das Erfinden von Rechennetzen gehören vielmehr zu verschiedenen gedanklichen Welten, die voneinander unabhängig sind. In einer genaueren Analyse (COHORS-FRESENBORG 1985, SCHWANK 1985) wurde dargestellt, wie sich in den verschiedenen Repräsentationsformen die wichtigsten Aspekte (z.B. Variablenbegriff und funktionale Abhängigkeit) des Begriffsnetzes "Algorithmus" darstellen lassen. Es zeigt sich, daß die verschiedenen Formen unterschiedliche Vorteile haben.

Eine besonders harte Überprüfung der Hypothese von der handlungsorientierten Grundlage algorithmischer Begriffe wurde durch Experimente mit hörgeschädigten Schülern durchgeführt. In einer Vergleichsuntersuchung zwischen gesunden und hörgeschädigten Schülern der Grundschule, in der beide Gruppen von Schülern Aufgaben mit dem Baukasten DYNAMISCHE LABYRINTHE zu lösen hatten, ergab, daß die hörgeschädigten Schüler mindestens so gut abschnitten wie die gleich intelligenten gesunden Schüler der Kontrollgruppe (GOLDBERG 1980,COHORS-FRESENBORG/STRUEBER 1982). Auch eine spätere Überprüfung dieser Versuche (STEINWENDER 1982) und ein Versuch, mit Hilfe von Rechennetzen und Registermaschine gehörlosen Schülern ein Verständnis des Programmierens nahezubringen (THURAND 1982), bestätigten die Hypothese von der Bedeutung einer handlungsorientierten Grundlegung algorithmischer Begriffe. Aufgrund der in diesen Experimenten zutage getretenen Erfolge wurde vom Kultusministerium des Landes Niedersachsen ein Schulversuch gestartet, in dem versucht wird, hörgeschädigten Schülern auf einer handlungsorientierten algorithmischen Grundlage ein tieferes Verständnis mathematischer Denkweisen nahezubringen. Dieser Versuch in den Klassen 7-10 dauert noch an. Bisher haben sich die in den Versuch gesteckten Erwartungen voll erfüllt (SCHWANK/COHORS-FRESENBORG/GOLDBERG 1984). In all diesen Experimenten und Versuchen zeigte sich, daß eine handlungsorientierte Grundlegung mathematischer Begriffsbildungen die hörgeschädigten Schüler zu Leistungen befähigte, die ihre Lehrer aufgrund des herkömmlichen, stark begrifflich ausgerichteten Mathematikunterrichtes nicht für möglich gehalten hatten.

Schon bei den ersten Einzeluntersuchungen 1979 mit vier Grundschülern des 4. Schuljahrs über Denk- und Problemlöseprozesse mit dem Baukasten DYNAMISCHE LABYRINTHE wurde entdeckt, daß es zwei verschiedene Arten gibt, wie Schüler Netzwerke von Automaten erfinden: eine mehr strukturierende und eine mehr mit dem Material interaktive, die die sequentielle Struktur der Automatennetze aufnimmt. In SCHWANK (1979) findet sich zum ersten Mal für diese zweite Art des Vorgehens der Begriff "sequentielles Denken". Dieser ersten explorativen Studie folgte dann 1981 eine umfangreichere Untersuchung von SCHWENDERLING zu der Frage, inwieweit sich Schüler nach ihren Leistungen beim Bilden algorithmischer Begriffe klassifizieren lassen. 9 Schülern eines 7. Schuljahrs eines Osnabrücker Gymnasiums wurden sowohl Aufgaben zum Konstruieren als auch zum Analysieren von Algorithmen für die Registermaschine vorgelegt. Die klare Unterscheidung in konstruktive und analytische Aufgaben ermöglichte es, die Leistungen der Schüler in diesen beiden Aufgabenklassen miteinander zu vergleichen. Es zeigte sich, daß es sowohl Schüler gibt, die im Konstruieren dieser Algorithmen erfolgreicher sind als im Analysieren als auch umgekehrt Schüler, deren Leistung beim Analysieren größer ist als beim Konstruieren. Es wurden dafür die Begriffe "konstruktiver" bzw. "analytischer" Denktyp gebildet (SCHWENDERLING 1982, COHORS-FRESENBORG 1982).

In den Jahren 1983-85 erfolgte dann durch KAUNE eine umfangreiche und gründliche Untersuchung zu der Frage des Einflusses von Repräsentationsformen und kognitiven Strategien beim Konstruieren und Analysieren von Algorithmen. Zu diesem Zweck wurde zunächst einmal das Versuchsdesign von SCHWENDERLING gründlich überarbeitet (KAUNE 1983). Insbesondere wurde dafür gesorgt, daß den Versuchspersonen die Wahl der Repräsentationsebene beim Einstieg in die Problemlösung freigestellt wurde. Auf diese Weise war es möglich, auch Aussagen über die bevorzugte Repräsentationsform der Versuchspersonen zu gewinnen. Insgesamt ergab die Untersuchung eine Bestätigung der Existenz von konstruktiven und analytischen Typen. Der wichtigste Beitrag von KAUNE ist darin zu sehen, daß die alte Frage nach unterschiedlichen Denkstrategien neu aufgenommen wurde. Die Begriffe "konstruktiver" bzw. "analytischer Denktyp" waren behaviouristisch definiert durch die Differenz einer Leistungsdimension in zwei klar abgegrenzten Aufgabenklassen (vgl. Kapitel 2.2.2 in dieser Arbeit). Es stellte sich die Frage, ob es nicht eine Möglichkeit gibt, unterschiedliche Denkstrategien der Schüler zu finden, die diese Leistungsunterschiede erklären lassen. Eine Analyse der Videobänder aus der Untersuchung von SCHWENDERLING (1982) führte zur Entdeckung unterschiedlicher kognitiver Strategien (KAUNE 1984): "sequentiell" bzw. "begrifflich". Im Gegensatz zur Begriffsbildung "konstruktiv/analytisch", welche eine behaviouristisch als Leistungsunterschiede beschriebene Klassifikation erbrachte, bezieht sich die Unterscheidung "sequentiell/begrifflich" auf eine Unterscheidung der zur Problemlösung angewandten Denkstrategien. Die weiteren Untersuchungen und Analysen haben zu gewissen Weiterentwicklungen der Begriffserklärung "sequentiell" bzw. "begrifflich" geführt (COHORS-FRESENBORG/KAUNE 1984). Bei der von KAUNE (1985a,b,c) untersuchten Gruppe von Versuchspersonen konnte zwischen beiden Begriffspaaren "sequentiell"/"begrifflich" und "konstruktiv"/"analytisch" kein Zusammenhang hergestellt werden. Im einzelnen wird auf die Arbeit von KAUNE (1985b) im folgenden Kapitel eingegangen, da sich unsere eigenen Untersuchungen an diese Konzeption anlehnen.

HASEMANN (1984) hat versucht, die von KAUNE (1984) beschriebenen unterschiedlichen kognitiven Strategien mit Hilfe kognitionspsychologisch orientierter mathematikdidaktischer Theorien zu interpretieren. Er konnte zeigen, daß sich von den untersuchten Theorien nur die sog. hypothetischen Mechanismen von DAVIS/McKNIGHT (1979) eignen, den Unterschied von begrifflichen und sequentiellen Denkstrategien zu beschreiben. Seiner Meinung nach entspricht dem begrifflichen Vorgehen die Benutzung von frame's, dem sequentiellen Vorgehen die Benutzung einer visually moderated sequence (VMS). KAUNE (1985b, Seite 163-167) legt dar, warum sie dieser Meinung nicht zustimmen kann: Die von ihr als sequentiell klassifizierte Denkstrategie ist nicht an visuelle Wahrnehmung gebunden, sondern an die Interaktion mit einer Handlungserfahrung.

Als letztes soll noch eine Arbeit von SCHWANK (1985) erwähnt werden, in der zur Erklärung der beobachteten Verhaltensunterschiede der Schüler beim Umgang mit Algorithmen ein neues Begriffspaar eingeführt wird: "prädikativ" versus "funktional".

Ihre grundlegende Hypothese ist, daß Menschen ihre gedankliche Welt aus unterschiedlichen Bausteinen zusammensetzen: Für die einen ist das Feststellen oder Erreichen von Beziehungen (Relationen, Prädikaten) der Grundbaustein ihres Denkens, für die anderen ist das Tun (Funktion) Grundelement ihres Denkens. Es soll schon jetzt angemerkt werden, daß die von uns vorgestellten (Kap. 3.1) Profile indonesischer Schüler den Nachweis erbringen können, daß es Unterschiede zwischen prädikativem und funktionalem Denken und begrifflicher bzw. sequentieller Denkstrategie gibt.

Die hier dargestellten Untersuchungen und theoretischen Erklärungen hatten das Ziel, Denk- und Lernprozesse von Schülern beim Auseinandersetzen mit Algorithmen zu verstehen. Es war eine Aufgabe mathematikdidaktischer Forschung. Die entwickelten Untersuchungsmethoden und Theorien wiesen aber über diesen Bereich hinaus. In der Informatik wird seit einiger Zeit mit wachsendem Interesse die Frage nach der Bedeutung der "Human Factors" beim Software-Einsatz gestellt. Die mathematikdidaktischen Forschungen über Repräsentationsformen und kognitive Strategien beginnen, Grundlage weiterer Arbeiten zur Software- Ergonomie zu werden (COHORS-FRESENBORG/KAUNE 1985).

2.2 Darstellung des Untersuchungsdesigns

2.2.1 Mathematikdidaktische Sachanalyse

Unseren Untersuchungen der Denkprozesse von Schülern beim Umgang mit Algorithmen legen wir folgendes übliche Begriffsverständnis zugrunde:
Ein Algorithmus ist eine endliche, eindeutige Beschreibung eines effektiven, allgemeinen Verfahrens.

Diese Definition zeigt, daß die Idee eines Algorithmus nicht von seiner Beschreibung zu trennen ist. Für die Darstellung eines Algorithmus' ist es also wichtig, welche Ausdrucksmittel man zur Verfügung hat.

In unserer Untersuchung wird den Schülern eine Vielfalt von Darstellungsmöglichkeiten angeboten. Vom rein mathematischen Standpunkt aus betrachtet sind diese Repräsentationsformen gleich leistungsfähig: Jede von ihnen reicht aus, um für jede berechenbare Funktion einen Algorithmus zur Berechnung der Funktionswerte anzugeben.

Aus mathematikdidaktischer Sicht ist es interessant (vgl. COHORS-FRESENBORG 1985) zu untersuchen, ob verschiedene Repräsentationsformen von Algorithmen für Schüler äquivalent sind für ihr Verstehen und Problemlösen. Man kann einmal fragen, ob es eine Hierarchie von Repräsentationsformen gibt, die für alle Schüler gilt, also "in der Natur der Sache" liegt, zum anderen, ob es einige Schüler gibt, die eine persönliche "Vorliebe" für eine Repräsentationsform haben. KAUNE (1985b,c) hat für ihre Untersuchung an 12-14jährigen deutschen Schülern die erste Frage mit nein, die zweite mit ja beantwortet. Wir werden auf diese Fragen für die von uns untersuchten indonesischen Schüler eingehen.

Im folgenden wird auf die gewählten Repräsentationsformen als Ausdrucksmöglichkeiten im einzelnen eingegangen. Das Untersuchungsinstrument verwendet zur Darstellung/sprachlichen Erfassung von Algorithmen 4 Repräsentationsformen (die Reihenfolge der Aufzählung ist ohne Bedeutung):

1.	Stäbchenhandlung an der Registerkiste	S-Form,
2.	Gebaute Netze mit den Mitteln des Baukastens "Dynamische Labyrinthe"	N-Form,
3.	Zeichnungen der Netze aus (2)	n-Form,
4.	Programmworte der Registermaschinensprache	P-Form.

zu (1) S-Form:
Die Registerkiste mit ihren (vier) Fächern als Speicherplätzen und den durch einen Haufen von Holzstäbchen repräsentierten, zu berechnenden Zahlen als Inhalt ist die einzige der angegebenen Repräsentationsformen, deren mathematikdidaktische Entwicklung mit von uns getragen wurde.
In der S-Form wird ein Algorithmus definiert durch eine Greif- und Bewegungshandlung der Hand des Schülers, einem von dieser Hand ausgeführten Stäbchen-Transport in die Fächer der Registerkiste hinein bzw. aus ihnen heraus. Zahlen werden durch Verlegen von Stäbchen verrechnet, dieses Verlegen ist beim Erfinden eines Algorithmus zu organisieren. Dabei ist sowohl möglich, betont "funktional" in den Bewegungen der Hand zu denken, als auch betont "prädikativ" in den erkannten Beziehungen zwischen dem Ist-Zustand und dem Ziel-Zustand der Fächer.

Benutzt werden in der Registerkistensprache vom Schüler mitgebrachte Vorstellungen über einen "Behälter", seinen "Inhalt" und, daß dieser "Inhalt" veränderbar ist. Der "Behälter" ist eine abgeschlossene Räumlichkeit mit der Eigenschaft, etwas "beinhalten" zu können, wobei das Wort "Inhalt" allgemein jeden Zustand der Fülle im Inneren des Behälters beschreibt und damit als "Platzhalter/Variable" für jede tatsächlich vorhandene Inhaltsart und -menge steht. Tatsächlicher "Inhalt" kann verändert werden, indem etwas dazugetan bzw. weggenommen wird (soweit möglich).

zu (2) N-Fom:
In der N-Form ist ein Algorithmus definiert durch ein mit dem Material "Dynamische Labyrinthe" gebautes Netz. Dieses ist ein funktionierendes Flußdiagramm mit dem Aussehen eines Eisenbahnnetzes. Ausgeführt wird der Algorithmus, indem der Schüler mit einem Stift (=Auto, Zug) in seiner Hand die gebauten Bahnen ab-

fährt, dabei kann es in besonderen Bausteinen, den Speicherplätzen "Zählbaustein", zu Inhaltsveränderungen kommen.
Für eine empirische, mathematikdidaktische Untersuchung ist insbesondere die Möglichkeit wichtig, daß es aufgrund der stark nonverbalen Prägung zu einem direkten Dialog zwischen Material und Schüler kommt, ohne daß Lehrerinstruktionen auf einer Metaebene benötigt werden. Der Schüler schafft sich durch sein Tun Begriffe. Durch seine Arbeit mit dem Material, dem Test, ob es hinkommt, sind seine Vorstellungen einer dauernden, von ihm selbst initiierten Korrektur ausgesetzt.
Beim Erfinden eines Algorithmus hat der Schüler zu bestimmen, welche Veränderungen in den Zählbausteinen vorgenommen werden sollen und in welcher Abfolge sich diese ereignen. Denkt der Schüler eher "funktional", wird er diese Veränderungen "auf den Weg mitnehmen" und sich in den zum Erreichen des Zieles benötigten Informationsfluß einfinden. Denkt der Schüler eher "prädikativ" betrachtet er "von außen", was sich in den Zählern zu verändern hat, die Bahnen kommen erst anschließend beim Bauen dazu.

2.2.2 Planung und Durchführung der Untersuchung

Vorstudien:

Zu Beginn meines Forschungsaufenthaltes an der Universität Osnabrück fand ich die günstige Situation vor, daß von KAUNE eine umfangreiche und experimentelle Untersuchung zum Problemkreis vorbereitet wurde, wie Schüler sich beim Konstruieren und Analysieren von Algorithmen verhalten und welche Bedeutung die Form der Repräsentation für ihre Denkprozesse hat. Ich hatte im Frühjahr 1983 Gelegenheit, an einer ihrer Pilotstudien als Untersuchungsleiter teilzunehmen. Die Untersuchung hatte folgende Struktur:

Jedem der beteiligten Schüler wurde die gleiche Folge von Aufgaben zum Konstruieren und Analysieren von Algorithmen vorgelegt. Jeder Schüler wurde von einem der Versuchsleiter in vier Stunden einzeln untersucht. Wenn ein Schüler beim Lösen der

Aufgaben Schwierigkeiten hatte, wurde ihm vom Versuchsleiter aus einer vorher festgelegten Liste eine geeignete Hilfe gegeben. Alle Untersuchungsstunden wurden mit einer Video-Anlage aufgezeichnet, so daß das Verhalten von Schüler und Versuchsleiter später im einzelnen analysiert werden konnte. Diese Untersuchungsmethode ist am ehesten vergleichbar mit klinischen Interviews. Durch die Festlegung auf eine für alle Schüler gleiche Folge von Aufgaben und eine feste Hilfenstruktur ergab sich eine gewisse Standardisierung, die (durch Zählen der gegebenen Hilfen) auch einen Vergleich in der Leistungsdimension zuläßt. Die untersuchte Schülergruppe wurde außerdem einem Intelligenztest unterzogen, dem als weitgehend sprachfrei geltenden APM-Test (Advanced Progressive Matrices) von RAVEN (1971).

Ich plante, meiner eigenen Untersuchung die gleiche Struktur des Untersuchungsdesigns zugrunde zu legen. Die von mir eingesetzten Aufgaben und Hilfen sollten möglichst (bis auf die von mir vorgenommene Übersetzung ins Indonesische) mit denjenigen übereinstimmen, die für die Untersuchung der deutschen Schüler vorgesehen waren. Durch meine Beteiligung als Versuchsleiter an den Voruntersuchungen von KAUNE und das dazugehörige intensive Training bezüglich der vorher vereinbarten Reaktionsweisen des Versuchsleiters auf Verhalten der Schüler wollte ich erreichen, daß nicht nur die Aufgaben vergleichbar sind sondern auch das Verhalten des Versuchsleiters. Insgesamt sollte so die Möglichkeit geschaffen werden, das Verhalten der indonesischen Schüler bei der Auseinandersetzung mit den algorithmischen Aufgaben mit dem der deutschen Schüler zu vergleichen.

Im August/September 1983 wurde in Yogyakarta eine erste Pilotstudie durchgeführt. Dafür standen nicht nur die Baukästen Dynamische Labyrinthe zur Verfügung, sondern auch eine von der Elektronik-Werkstatt der Universität Osnabrück für den Einsatz in Indonesien gebaute Registermaschine. Trotz gründlicher Erprobung in Osnabrück in einem simulierten tropischen Klima gab es in der indonesischen Realität Probleme mit ihrer Funktion. Erst eine Klimaanlage (zur Trocknung der Luft!) brachte endgültig Hilfe. Das Programm der Registermaschine war so abgeändert worden, daß die angezeigten Registermaschinen-Programme eine Bezeichnung hatten, die von den indonesischen Schülern als Abkürzungen indonesischer Wörter aufgefaßt werden konnten. Außerdem wurde der Fehlerkommentar in indonesischer Sprache angezeigt.

12 Schüler im Alter von 13 Jahren, 6 Monaten bis 15 Jahre (Mittelwert 14 Jahre, 1 Monat, Standardabweichung 6 Monate, 7 Tage) nahmen an der Untersuchung teil. Es waren Schüler der 8. Klasse unterschiedlicher "Gymnasien" (General Junior Secondary School) in der Stadt Yogyakarta. Zum Vergleich mit den deutschen Schülern unterzogen wir auch die indonesischen Schüler dem RAVEN-Test. Die Schüler erreichten zwischen 15 und 39 Punkten bei einem Mittelwert von 28,4 und einer Standardabweichung von 7,1. Sie waren also durchaus mit der Untersuchungspopulation in Osnabrück von KAUNE vergleichbar (dort zwischen 16 und 39 Punkten, Mittelwert: 29,7).

Nach meiner Rückkehr nach Osnabrück wurden die mit der Videoanlage aufgezeichneten Untersuchungsstunden intensiv analysiert. Es zeigte sich, daß die indonesischen Schüler große Schwierigkeiten beim Umgang mit den Bausteinen hatten. Auf dieses Problem wird im Kapitel 2.3.2 gesondert eingegangen. Die Analyse der Videobänder aus meiner ersten Pilotstudie in Indonesien und aus der gleichzeitig von KAUNE in Osnabrück durchgeführten Pilotstudie gab Anlaß, die Aufgaben und Hilfen zu überarbeiten. Aber auch das Verhalten der eingesetzten Versuchsleiter mußte korrigiert werden.

Im April 1984 war ich erneut in Yogyakarta, um an vier Schülern das verbesserte Untersuchungsdesign zu erproben. Es wurde insbesondere ausprobiert, ob eine zusätzliche Trainingsstunde mit dem Baukasten Dynamische Labyrinthe die Handhabung der Bausteine durch die indonesischen Schüler so verbessern könnte, daß die Ausgangssituation in der Untersuchung für die indonesischen Schüler vergleichbar mit derjenigen der deutschen Schüler ist, die zwar den Baukasten Dynamische Labyrinthe nicht kannten, aber Vorerfahrungen mit Spielzeug haben (vgl. Kapitel 2.3.2). Wegen der guten Erfahrung wurde beschlossen, diese zusätzliche

Trainingsstunde für die geplante Hauptuntersuchung beizubehalten.

Hauptuntersuchung:

Auswahl und Alter der Schüler:
Die Hauptuntersuchung wurde von mir zwischen August und Oktober 1984 durchgeführt. An dieser Untersuchung nahmen 14 Schüler im Alter von 13 Jahren und 6 Monaten bis 14 Jahren und 9 Monaten teil (Mittelwert: 13 Jahre unnd 11 Monate, Standardabweichung: 4 Monate und 6 Tage). Es waren wieder Schüler der 8. Klasse unterschiedlicher "Gymnasien" aus der Stadt Yogyakarta. Ich habe sie durch Vermittlung mir bekannter Lehrer nach folgenden Gesichtspunkten ausgesucht: Sie sollten nicht besonders klug sein aber Mut haben, mit einem fremden Lehrer etwas Neues zu lernen und beim Arbeiten zu sprechen.

Intelligenzniveau:
Die Ergebnisse des RAVEN-Test (s. Tabelle 2.1) liegen zwischen 6 und 39 Punkten (Mittelwert 27,9 und Standardabweichung 8,8). D.h. im Vergleich mit der Voruntersuchung von 1983 haben sie keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Alter und Intelligenzpunkte. Der Tendenz nach sind die Versuchspersonen von 1983 etwas älter und besser im RAVEN-Test als die von 1984. (Einfluß des Ausreißers mit 6 Punkten, der trotzdem mitgewertet wurde.)

Kognitves Tempo:
Das kognitive Tempo der Schüler in der Hauptuntersuchung haben wir durch den von KAGAN (1965) entwickelten MFF-Test (Matching Familiar Figures) untersucht. Die Auswertung (Daten s.Abb.2.2, Teile 1. bis 3.) brachte folgendes Ergebnis: Von 14 Schülern sind 7 reflektiv und 7 impulsiv; d.h. jeder Schüler konnte zugeordnet werden. Zu bemerken ist, daß es einen Schüler gibt, der im Vergleich zu den anderen sehr reflektiv ist und beim Lösen aller Aufgaben dieses Tempo konsistent verwendet. Er überlegte sich die Auf- gaben sehr lange, bevor er seine Lösungsidee äußerte oder eine Repräsentationsform wählte.

Tabelle 2.1

Ergebnisse des Advanced Progressive Matrices-Testes (APM)

Nr	Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Set I
1	Barus	+	+	+	+	+	- 2	+	+	- 2	+	+	+	10
2	Kesi	+	+	+	+	+	+	+	+	- 4	+	+	+	11
3	Meri	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	- 1	+	11
4	Lusi	+	+	+	+	- 1	+	+	+	+	- 6	+	- 7	9
5	Rudin	+	+	+	+	+	+	+	+	- 3	+	+	+	11
6	Mangi	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	- 1	+	11
7	Listi	+	+	+	+	+	- 2	+	+	+	+	+	+	11
8	Mulia	+	+	+	+	+	+	+	- 7	- 4	+	- 2	+	9
9	Arus	+	+	+	+	+	- 2	+	+	+	+	- 4	+	10
10	Sulin	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12
11	Anung	+	- 1	- 3	- 7	+	+	+	+	- 3	+	+	- 4	7
12	Sriat	+	+	+	+	+	+	+	- 8	- 3	- 6	+	- 8	8
13	Luti	+	+	+	+	- 1	+	+	+	- 8	+	- 1	+	9
14	Seno	- 3	- 2	- 3	- 7	- 7	- 4	- 5	- 8	- 6	- 7	- 1	- 10	0

Nr	Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Barus	+	+	+	+	+	+	+	+	+	- 5	- 4	+	+	+	+	+	+	+
2	Kesi	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3	Meri	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4	Lusi	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	- 1
5	Rudin	+	+	+	+	+	+	+	- 2	+	+	+	+	+	+	+	+	- 4	- 5
6	Mangi	+	- 2	+	+	+	+	+	- 2	+	+	+	+	- 6	+	- 1	- 1	+	+
7	Listi	+	+	- 8	+	+	+	+	- 2	+	+	+	- 2	+	+	+	+	+	+
8	Mulia	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	- 8	+	- 3	- 8
9	Arus	+	+	+	+	+	+	- 2	- 4	+	+	+	+	- 5	+	- 8	+	+	+
10	Sulin	+	+	+	+	+	+	+	- 2	+	- 8	+	- 8	+	- 4	- 8	- 3	+	- 5
11	Anung	+	+	+	+	+	+	- 2	- 4	+	- 2	+	+	+	- 8	- 8	- 1	+	- 1
12	Sriat	- 8	- 8	- 6	- 5	+	+	- 2	- 5	+	+	+	- 4	- 8	- 4	- 4	- 3	- 4	- 3
13	Luti	+	+	+	- 8	- 7	+		+	+	+	+	- 7	- 6	+	- 8	- 6	+	- 8
14	Seno	- 7	- 8	- 6	- 8	- 4	- 6	+	- 5	+	+	+	- 8	- 8	- 3	- 4	- 5	- 1	- 1

Nr	Name	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	Set II	Set I u. Set II	Rang
1	Barus	- 7	+	+	+	+	+	+	+	+	+	- 7	- 7	+	+	+	+			29	39	1
2	Kesi	+	- 2	+	+	+	+	- 1	+	+	- 4	- 7	+	- 8	- 4	- 1	- 2			26	37	2
3	Meri	- 8	- 2	+	+	- 5	- 1	+	+	- 4	- 4	- 7	- 8	- 5	- 6	- 7	+	- 7	- 1	23	34	3.1
4	Lusi	- 8	+	- 1	- 8	- 1	+	+	+	+	- 2	- 1	- 3	- 3	- 4	+	+	+	- 6	25	34	3.2
5	Rudin	+	+	- 4	- 6	- 3	+	+	+	- 8	- 2	- 5	- 2	- 8	- 2	+	- 3	- 1	- 1	21	32	5.1
6	Mangi	+	+	- 3	- 8	+	+	+	+	+		- 2	- 2	- 5	+	- 3	- 5	- 7		21	32	5.2
7	Listi	+	+	+	- 4	+	- 2	- 6	+	- 3	- 4	- 3	- 4	- 8	- 4					20	31	7
8	Mulia	+	- 2	+	- 8	+	+	+	- 8	- 1	- 4	- 1	+	- 5	- 4	- 1	- 8	- 8	- 7	21	30	8.1
9	Arus	+	+	+	+	- 3	- 1	- 2	+	- 1	+	- 7	- 6	- 5	- 1	- 3	- 4	- 6	- 7	20	30	8.2
10	Sulin	- 8	- 6	- 1	- 5	- 4	- 1	- 1	+	- 4	- 3	- 1	- 2	- 6	- 2	- 3	- 5	- 1	- 5	12	24	10
11	Anung	+	- 1	- 1	- 5	- 1	- 1	- 2	- 6	- 1	- 6	- 3	- 6	- 3	- 7	+	+	- 4	- 1	14	21	11
12	Sriat	+	+	- 2	+	+	- 1	- 4	- 8	- 4	- 8	- 5	+	- 6	- 7	+	+	- 4	- 8	12	20	12.1
13	Luti	- 8	- 3	+	- 5	- 5	- 2	- 1	- 6	- 3	- 2	- 8	- 3	- 3	- 7	- 7	- 3	- 2	- 6	11	20	12.2
14	Seno	- 7	- 2	- 7	- 8	- 5	- 2	- 8	- 3	+	- 7	- 3	- 4	- 6	- 1	- 8	+	- 7	- 6	6	6	14

Abbildung 2.2 Teil 1-2

1. Daten

Nr	Name	Mittelwert Z: durchschnittlich benötigte Zeit bis zur 1. Antwort [sec]	Mittelwert A: Antwortversuche bis zur Lösung
1	Anung	27.82	1.86
2	Arus	13.21	2.71
3	Barus	37.56	1.64
4	Kesi	32.59	1.36
5	Listi	39.81	1.29
6	Lusi	15.62	2.64
7	Luti	27.08	2.00
8	Mangi	14.95	2.36
9	Meri	50.55	1.36
10	Mulia	32.07	1.43
11	Rudin	60.09	1.64
12	Seno	11.84	2.00
13	Sriat	13.42	2.79
14	Sulin	17.02	1.93

2. Diagramm zum kognitiven Tempo

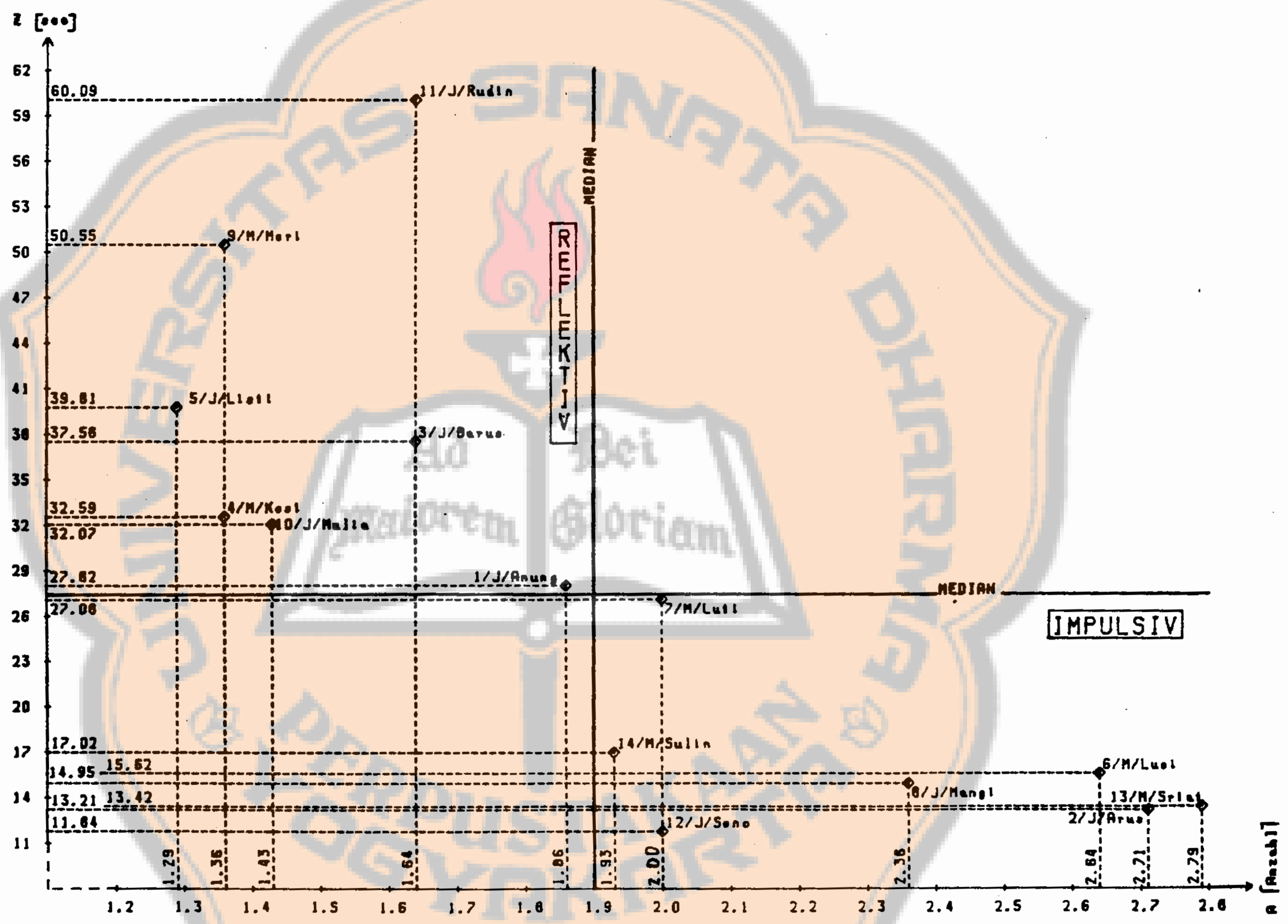


Abbildung 2.2 Teil 3

3. **Ergebnisse: kognitives Tempo der untersuchten Schüler nach MFF**

7 **reflektive** Schüler		7 **impulsive** Schüler	
Rudin	J	Sriat	M
Meri	M	Arus	J
Listi	J	Lusi	M
Barus	J	Mangi	J
Kesi	M	Seno	J
Mulia	J	Luti	J M.
Anung	J	Sulin	M

Erzählstil:
Bei unseren Überlegungen über eventuell vorhandene Unterschiede zwischen deutschen und indonesischen Schülern, die durch die verschiedene Kultur erklärt werden könnten, hatten wir die Idee, die Art zu untersuchen, wie Schüler eine Geschichte nacherzählen. Wegen der großen methodischen Probleme dieses interkulturellen Vergleiches haben wir zwar später davon abgesehen, diese Idee weiterzuverfolgen, wir wollen hier aber doch darstellen, welchem von uns ausgedachten "Sagen-Test" wir unsere indonesischen Schüler unterzogen haben.

Der Sagen-Test besteht aus einer Seite Text ohne Überschrift (vgl. Anhang). Die Sage erzählt davon, woran es liegen könnte, daß die Stadt Yogyakarta, die am Fuße des Vulkan Merapi liegt, nie von der Lava erreicht wird, wenn dieser Vulkan explodiert. Ziel dieses Testes war es zu erfahren, wie Schüler die in der Geschichte beschriebene Information verarbeiten, abspeichern und abrufen. Die Schüler durften den Text bis zu dreimal lesen, bevor sie die beiden folgenden Aufgaben lösen mußten:

1. Sie mußten mit ihren eigenen Worten beschreiben, worum es eigentlich in der Sage geht.
2. Sie mußten für die Sage eine Überschrift finden.

Ein Schüler hat an diesem Test nicht teilgenommen. Von den übrigen 13 erzählten 12 Schüler die Information der Reihe nach bis in Einzelheiten wieder. Sie waren nicht in der Lage, eine kurze Zusammenfassung zu geben. Nur ein Schüler konnte eine solche Zusammenfassung geben.
Auf die Frage nach einer passenden Überschrift gaben die Schüler unterschiedliche Antworten, wie aus der Tabelle zu entnehmen ist.

Vom Schüler gewählte Überschrift	Schüler	Kategorien
1. König Senopati	2	Person (Hauptfigur)
2. Die Gefahr des Vulkans Merapi	1	Wirklichkeit
3. König Senopati traf die Königin Kidul im indischen Ozean	1	Geschehen
4. König Senopati lebte asketisch als Einsiedler	1	Geschehen
5. Der Riese des Vulkans Merapi	1	Geschehens-Objekt
6. Die Gefahr der Lava des Vulkans Merapi abwenden	1	Ziel
7. Ein Versuch, die Stadt Yogyakarta durch Mythos zu schützen	1	Ziel und persönliche Interpretation
8. Königin Kidul möchte König Senopati besiegen und zum Riesen verwandeln	1	Subjekt eines Geschehens bzw. persönliche Interpretation durch Ergebnisbeschreibung
9. Ein Riese behält den Vulkan Merapi im Auge	1	Ergebnis
10. Warum kommt die Gefahr nie nach Yogyakarta, wenn der Vulkan explodiert?	1	Ursache (Frage nach Ursache)
11. (keine Wahl)	2	--------------

Diese Daten zeigen uns, daß Schüler ihre Gedanken auf sehr unterschiedliche Aspekte richten, obwohl sie das gleiche Material gelernt haben. Sie interpretieren die Information nach ihrem Interesse.
Wir halten dieses Ergebnis für wichtig, da es zeigt, daß unterschiedliche Schüler verschiedene Strategien und Interessen bei der Auseinandersetzung mit einer Information haben.

Als wir unsere Beobachtungen mit dem Sagen-Test unseren deutschen Kollegen erzählten, waren sie sehr erstaunt. Sie meinten, daß deutsche Schüler in diesem Alter die Sage eher interpretieren und dann eine kurze Zusammenfassung geben würden. Wir sahen uns nicht in der Lage, die bei der Anwendung dieses Testes auf deutsche Schüler und dem interkulturellen Vergleich sich ergebenden methodischen Probleme (Übersetzung, Milieu der Geschichte) zu lösen. Trotzdem waren wir neugierig und haben eine Gelegenheit gefunden, einer Schülerin die Übersetzung unseres Sagen-Testes zu geben. Sie las ihn zweimal durch, und auf die von uns gestellten Fragen gab sie zunächst eine kurze Zusammenfassung und wählte dann eine Überschrift. In unserem Interview mit ihr erzählte sie, daß Schüler in der Schule im Sprachunterricht immer üben, beim Lesen eines Textes seinen Inhalt zuerst kurz zusammenzufassen. Eine solche Tradition fehlt im indonesischen Sprach- und Geschichtsunterricht. Die Lehrer sind normalerweise schon zufrieden, wenn ihre Schüler Fragen über Fakten gut beantworten können. Auch in der Universität ist das nicht sehr viel anders. Wir haben die von uns untersuchten indonesischen Schüler noch nach Wissen über Fakten aus der Geschichte befragt. Sie konnten diese gut beantworten.

Algorithmische Aufgaben:

Kategorien der Aufgaben

Bei unserer Untersuchung haben wir i.w. die gleichen Aufgaben eingesetzt, die auch KAUNE (1985b) in ihrer Untersuchung gestellt hat. Die Auswahl und die Formulierung ist das Ergebnis unserer beider umfangreicher Voruntersuchungen. (Der Wortlaut der Aufgaben findet sich im Anhang.)
Die von uns den Schülern vorgelegten Aufgaben lassen sich in zwei Hauptkategorien einordnen:

1. **konstruktive Aufgaben:**
   Es handelt sich darum, daß Schüler einen Algorithmus zur Berechnung einer vorgegebenen Funktion konstruieren müssen. Der Algorithmus muß letztlich in Form eines Programmwortes für die Registermaschine geschrieben werden. Die Funktion ist so dargestellt, daß die Argumente als Inhalt der am Anfang belegten Register repräsentiert werden und die Werte als Inhalte der am Ende belegten Register. Diese Aufgaben werden Aufgaben vom konstruktiven Typ genannt und mit "k-Aufgaben" abgekürzt.

2. **analytische Aufgaben:**
   Diese Aufgaben werden in drei Unterkategorien eingeteilt. Sie werden mit "**a-Aufgaben**" abgekürzt.

   2.1 **a-Funktionen** sind solche Aufgaben, in denen die Schüler zu einem vorgegebenen Programmwort die Funktion angeben müssen, die es berechnet. Es handelt sich hier also um das Finden der semantischen Bedeutung des Programmwortes.

   2.2 **a-Rechenschritte** sind solche Aufgaben, in denen die Schüler zu einem vorgegebenen Programmwort analysieren sollen, wieviele Rechenschritte bei Ausführung benötigt werden. Es handelt sich hier also mehr den Umgang mit der syntaktischen Bedeutung des Programmwortes.

   2.3 **a-Fehler:** Bei diesem Aufgabentyp müssen die Schüler einen absichtlich vorgegebenen Fehler im Bau eines Rechennetzes bzw. in einem Programmwort herausfinden und korrigieren.
   In der ersten Aufgabe werden die zu berechnenden Funktionen (Argumente und Werte werden ausschließlich mit Variablen dargestellt) und die Darstellung des dazu gegebenen, aber falschen Algorithmus' in Form eines Rechennetzes vorgegeben.
   In der zweiten Aufgabe werden die zu berechnenden Funktionen (Argumente und Werte werden ausschließlich mit Variablen dargestellt) und die Darstellung des dazu gegebenen, aber falschen Algorithmus in Form eines Programmwortes vorgegeben.

Der Tabelle 2.1 kann man die Anzahl der Aufgaben der verschiedenen Typen entnehmen sowie die Anzahl derjenigen Hilfen, die zumindest einem Schüler gegeben wurden. Als Einführungsaufgabe bekamen die Schüler die k-Aufgabe (Nummer 1.1k), einen Additionsalgorithmus zu konstruieren. Diese Aufgabe diente dazu, sie mit den vier Repräsentationsformen S,N,n,P (in dieser Reihenfolge) vertraut zu machen.

Tabelle 2.1

Typ der Aufgaben	Anzahl Aufgaben	Anzahl Hilfen	Nummer der Aufgaben
1. k-Aufgaben	6	79	1.2k,2.1k,2.2k,3.1k 4.1k,4.2k
2. a-Aufgaben:			
2.1 a-Funktionen	3	31	2.3a,2.4a,3.2a
2.2 a-Rechenschritte	5	34	4.1.1a (in 4.1k), 4.2.1a (in 4.2k), 4.3a,4.4a,4.5a
2.3 a-Fehler	2	24	3.3F,4.6F
Total:	16	168	

Tabelle 2.2: Verteilung der Aufgaben auf die Untersuchungsstunden

Stunde	Aufgabentyp	Nummer d.Aufg.	benöt.Zeit
1.Std.	k-Aufgaben	1.1(Einführ.)1.2k	90 min.
2.Std.	k-Aufgaben	2.1k,2.2k	90-110 min.
	a-Funktionen	2.3a,2.4a	
3.Std.	k-Aufgaben	3.1k	
	a-Funktion	3.2a	90-110 min.
	a-Fehler	3.3F	
	Einführung der Rechenschritte		
4.Std.	k-Aufgaben	4.1k,4.2k	90-120 min.
	a-Rechenschr.	4.1.1a,4.2.1a, 4.3a,4.4a,4.5a	
	a-Fehler	4.6F	

__Übersicht über die Aufgaben:__

Erste Stunde:

1.1k: Addition (Einführung):

$$\begin{array}{cc} R_1 & R_2 \\ \hline x_1 & x_2 \end{array} \longrightarrow \begin{array}{cc} R_1 & R_2 \\ \hline x_1+x_2 & 0 \end{array}$$

1.2k: Schreibe ein Programmwort für die Subtraktion:

$$\begin{array}{cc} R_1 & R_2 \\ \hline x_1 & x_2 \end{array} \longrightarrow \begin{array}{cc} R_1 & R_2 \\ \hline x_1-x_2 & 0 \end{array}$$

Zweite Stunde:

2.1k: Schreibe ein Programm, das den Inhalt von R_1 nach R_2 und R_3 transportiert:

$$\begin{array}{ccc} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline x_1 & 0 & 0 \end{array} \longrightarrow \begin{array}{ccc} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline 0 & x_1 & x_1 \end{array}$$

2.2k: Schreibe zu folgendem Problem ein Programmwort für die RM:

$$\begin{array}{ccc} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline 0 & x_2 & 0 \end{array} \longrightarrow \begin{array}{ccc} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline 0 & x_2 & x_1 \end{array}$$

2.3a: Stelle fest, was durch folgendes Programm berechnet wird:

$A_2\ S_4\ A_1$

Überlege dir das zuerst an folgendem Beispiel:

$$\begin{array}{cccc} R_1 & R_2 & R_3 & R_4 \\ \hline 2 & 3 & 0 & 4 \end{array} \longrightarrow \begin{array}{cccc} R_1 & R_2 & R_3 & R_4 \\ \hline & & & \end{array}$$

Anschließend wird der Schüler aufgefordert, die Überlegungen mit variablen Registerinhalten durchzuführen:

$$\begin{array}{cccc} R_1 & R_2 & R_3 & R_4 \\ \hline x_1 & x_2 & 0 & x_4 \end{array} \longrightarrow \begin{array}{cccc} R_1 & R_2 & R_3 & R_4 \\ \hline & & & \end{array}$$

2.4a: Stelle fest, was durch folgendes Programm berechnet wird:

$A_1\ A_1\ A_1\ (_4\ S_4\ A_1)$

Überlege dir das zuerst an folgendem Beispiel:

$$\begin{array}{cccc} R_1 & R_2 & R_3 & R_4 \\ \hline 5 & 0 & 0 & 2 \end{array} \longrightarrow \begin{array}{cccc} R_1 & R_2 & R_3 & R_4 \\ \hline & & & \end{array}$$

Anschließend wird der Schüler aufgefordert, die Überlegungen mit variablen Registerinhalten durchzuführen (vgl.2.3a).

Dritte Stunde:

3.1k: Schreibe ein Programm zum Verdoppeln:

$$\begin{array}{ccc} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline x_1 & 0 & 0 \end{array} \longrightarrow \begin{array}{ccc} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline 0 & 2x_1 & 0 \end{array}$$

3.2a: Stelle fest, was durch folgendes Programm berechnet wird:

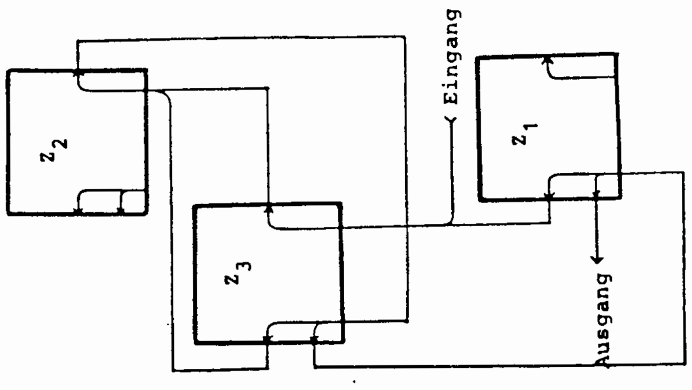
$(_3S_3S_2)\ (_2S_2A_1)$

Überlege dir das an folgendem Beispiel:

$$\begin{array}{ccc} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline 6 & 7 & 4 \end{array} \longrightarrow \begin{array}{ccc} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline & & \end{array}$$

3.3F: Ich habe dir hier ein Netz mitgebracht, das ein Schüler für folgendes Problem gebaut hat:
Am Anfang der Rechnung wird in Zähler 1 eine Zahl eingestellt, Zähler 2 und Zähler 3 sind 0. Am Ende der Rechnung soll in Zähler 3 das Doppelte der Zahl aus Zähler 1 stehen, Zähler 1 und Zähler 2 sind dann leer.

Ärgerlich ist nur, daß dem Schüler ein Fehler unterlaufen ist: Das Netz leistet nicht genau das, was es soll. Deine Aufgabe ist es nun, den Fehler zu finden und zu korrigieren.



Vierte Stunde:

4.1k: Schreibe zu folgendem Problem ein Programmwort für die Registermaschine:

$$\frac{R_1 \quad R_2 \quad R_3}{x_1 \quad x_2 \quad 0} \longrightarrow \frac{R_1 \quad R_2 \quad R_3}{0 \quad 0 \quad 2x_1+2x_2}$$

4.1.1a: (Der Schüler wird dann aufgefordert, die für die Ausführung des von ihm erfundenen Programmes benötigten Rechenschritte zu ermitteln.)

4.2k: Schreibe nun zu folgendem Problem ein Programmwort für die RM:

$$\frac{R_1 \quad R_2 \quad R_3}{x_1 \quad x_2 \quad 0} \longrightarrow \frac{R_1 \quad R_2 \quad R_3}{0 \quad 0 \quad 2(x_1+x_2)}$$

4.2.2a: (Der Schüler wird dann aufgefordert, die für die Ausführung des von ihm erfundenen Programmes benötigten Rechenschritte zu ermitteln.)

4.3a: Gib eine Formel für die Rechenschritte des folgenden Programms an: $({}_2S_2A_3A_4S_4)$
Dabei ist R_2 belegt.

4.4a: Gib eine Formel für die Rechenschritte des folgenden Programms an: $A_1({}_3S_3A_5)$
Dabei ist R_3 belegt.

4.5a: Gib eine Formel für die Rechenschritte des folgenden Programms an: $({}_1S_1A_5({}_2S_2A_3A_4)({}_4S_4A_2))$
Dabei sind R_1 und R_2 belegt.

4.6F: Für das folgende Problem

$$\begin{array}{ccc} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline x_1 & x_1 & 0 \end{array} \longrightarrow \begin{array}{ccc} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline 0 & 0 & 2x_1-2x_2 \end{array}$$

ist das Programmwort geschrieben: $({}_1S_1A_3A_3)({}_2S_2A_4A_4)({}_4S_4A_3)$ Es ist jedoch falsch. Deine Aufgabe ist es nun, den Fehler zu erkennen und zu korrigieren.

Die Planung der einzelnen Untersuchungsstunden einschließlich der Diagnosepunkte und der vorgesehenen sowie der im Laufe der Untersuchung zusätzlich gegebenen Hilfen ist im Anhang nachzulesen.

2.3 Zum Problem einer interkulturellen Vergleichsstudie
2.3.1 Allgemeine Bemerkungen

Unserer Meinung nach werden die Fähigkeiten der Menschen durch zwei Faktoren bestimmt:
- Begabung als innerer Faktor
- Erfahrung als äußerer Faktor.

Wir verstehen hier unter Begabung die angeborene Befähigung und die Erfahrung als Einfluß der Umwelt, wobei das Individuum selbst zu seiner Umwelt gehört.

KLIX (1983, S.384) versteht unter Begabung die aus vorgegebenen Motivgründen bevorzugte Form des Organisierens von Teilfunktionen zu Erkenntnistätigkeiten. Man kann sich fragen, woher die Motivgründe entstanden sind. Wir denken, daß Begabung ein spezifisches individuelles Merkmal ist, das die Grundfähigkeit der Person bestimmt. Wir wollen hier aber auf den Begabungsaspekt nicht weiter eingehen, sondern uns besonders interessieren für den Einfluß von Erfahrung auf die Intelligenz oder Fähigkeit der Kinder. Man sammelt sein Wissen durch Erfahrung mit seiner Umwelt. Ein Kind, das in einer industriellen Gesellschaft lebt, hat andere Erfahrungen gehabt als das, welches in einer traditionellen Kultur lebt.
Wir sind der Meinung, daß es zwischen Kultur, Erfahrungen und Intelligenz einen Zusammenhang gibt. Es gibt viele Aspekte von Kultur, und jeder Aspekt leistet einen Beitrag bei der Entwicklung der Intelligenz eines Individuums.

Was ist Kultur eigentlich?
STERNBERG (1982, S.645) zitiert die von KROEBER und KLUCKHOHN (1952) vorgeschlagene Definition von Kultur:
"Culture consists of patterns, explicit and implicit of and for behaviour required and transmitted by symbols, constituting the distinctive achievement of human groups, including their embodiments in artifacts; the essential core of culture consists of traditional (i.e.historically derived and selected) ideas and especially their attached values; culture systems may on the one hand be considered as products of action, on the other as conditioning elements of further action".

Eine andere Definition von Kultur findet man im Lexikon der Soziologie von W.FUCHS (1978):

"1. Kultur ist die Gesamtheit der Verhaltenskonfiguration einer Gesellschaft, die durch Symbole über die Generation hinweg übermittelt werden, in Werkzeugen und Produkten Gestalt annehmen, in Wertvorstellungen und Ideen bewußt werden.
2. Kultur ist die Gesamtheit der Verhaltenskonfiguration einer jeden sozialen Gruppe, ganz gleich, wie groß und dauerhaft sie ist.
3. Kultur ist die Gesamtheit der Symbolgehalte einer Gesellschaft (Religion, Kunst, Wissen usw.) im Gegensatz zu ihrer materiellen Ausstattung (Zivilisation)".

Für unsere Überlegungen vereinfachen wir diese Definitionen von Kultur und verstehen darunter die Gesamtheit der typischen Lebensformen der Menschen, die in einem bestimmten Land leben. Industrielle und traditionelle Kultur unterscheiden wir in Bezug auf die Entwicklung der Industrie und ihrer Folgen. In traditionellen Gesellschaften haben die Menschen einfache Lebensformen im Vergleich zu denen in den hochindustrialisierten Ländern. Leben in einfacher Form bedeutet u.a., daß die Menschen einfache Geräte benutzen, die nur einfache Denkweisen herausfordern, und daß sie vom historischen Hindergrund noch sehr beeinflußt sind.

Interkulturelle Forschung bemüht sich noch um die Frage, welche Beziehungen zwischen Kultur und Intelligenz, zwischen Kultur und Denken existieren. In unseren Zusammenhang gehört die Frage, ob es eine Beziehung zwischen Kultur und mathematischem Denken gibt. Mathematikdidaktische Forschung zum interkulturellen Vergleich trägt dazu bei, die Gemeinsamkeiten im mathematischen Denken zu erforschen. Wenn es gelingt, diese Gemeinsamkeiten herauszufinden, kann der eine von den Erfahrungen des anderen lernen und diese Gemeinsamkeiten zur Verbesserung der Mathematikdidaktik unter besonderer Berücksichtigung der spezifischen Eigenschaften der jeweiligen Kultur verwenden.

In einem Aufsatz über Untersuchungen mit 12 Studenten des ersten Universitätsjahres in Papua/Neu Guinea berichtet BISHOP

(1978), wie groß die Schwierigkeiten seiner Versuchspersonen waren, einen geometrischen Test mit ikonisch repräsentierten Aufgaben zu absolvieren. Dagegen hatten sie mit Problemen, bei denen die geometrischen Gegenstände als Objekte greifbar waren, keine Schwierigkeiten. Daß die beobachteten Schwierigkeiten nicht mit der Tatsache einer evtl. abstrakteren Darstellung zu erklären sind, zeigte ein Test " Word Recognition", bei dem sie englische Worte, deren Buchstaben vertauscht waren, richtig aufschreiben mußten. Bei diesem Test waren sie bemerkenswert erfolgreich. BISHOP erklärt die beobachteten Unterschiede in interkulturellen Vergleichsstudien wie folgt:
"When the object is well known and the convention used in representing it is a familiar one, then imagining and visualising with regard to that representation is well done".
Er schließt seinen Aufsatz mit den Bemerkungen:
"What I am suggesting is that:

there is <u>more</u> than one way of viewing the world,
the mathematican's view is a <u>particular</u> one,
it is <u>not</u> an obvious one,
it is shaped by a <u>particular</u> culture,
it assumes <u>many</u> cultural "supports",

and increasing our own awareness of these cultural supports will improve the ways we introduce learners to the mathematician's world."

Bei den von uns durchgeführten Untersuchungen zur Frage unterschiedlicher Denkstrategien indonesischer Schüler beim Konstruieren und Analysieren von Algorithmen haben wir ein Untersuchungsdesign eingesetzt, welches etwa zur gleichen Zeit von KAUNE an etwa gleichalten Schülern eines Osnabrücker Gymnasiums benutzt wurde. Wir glauben, auf diese Weise einen Beitrag zu einer interkulturellen Vergleichsstudie in diesem speziellen Bereich der Mathematik leisten zu können. Das Schwergewicht unserer Untersuchung liegt nicht auf einem Vergleich der Leistungsdimension, sondern auf einer präzisen Herausarbeitung der Denkprofile ausgewählter indonesischer Schüler und einem Vergleich mit ähnlichen Beobachtungen an den deutschen Schülern. Da wir bei unseren Untersuchungen insbesondere ein didaktisches Material, nämlich (u.a.) "Dynamische Labyrinthe", eingesetzt haben, stellte sich die Frage, inwieweit sich interkulturelle Unterschiede bei den untersuchten Schülern in der Handhabung des Materials bemerkbar machen würden.

In einem hochindustrialisierten Land wie der Bundesrepublik Deutschland sind Kinder schon früh daran gewöhnt, mit verschiedenen industriellen Spielzeugen umzugehen. Im Hinblick auf das didaktische Material "Dynamische Labyrinthe" sind hier insbesondere Lego-Bausteine, Fischer-Baukasten und Modelleisenbahnen zu nennen. In Indonesien spielen die Kinder mit Kindern in der Natur. Sie kennen diese industrialisierten Spielzeuge nur sehr wenig. MULDER (1973) war überrascht, als er beobachtete, daß die Kinder auf Java, verglichen mit den Kindern in Europa, kein Spielzeug haben. Er beschreibt seine Beobachtung so (Übersetzung aus der indonesischen Sprache, S.51-52):
"Wenn ein javanisches Kind spielen will, wird es mit anderen Kindern spielen. Hauptsächlich spielen Kinder und Erwachsene mit Kindern. Sehr selten werden kleine Kinder beim Spiel mit Gegenständen gesehen. Ein Verlangen zum Beherrschen von Materialeigenschaften wird nicht entwickelt und ist in der Gesellschaft nicht hoch geachtet. Konstruktive Spiele, die seine geistigen Fähigkeiten herausfordern und entwickeln, gibt es kaum (Klötzchenspiele mit Klötzchen, die vielerlei Konstruktionen erlauben; Puzzle, Legospiele mit verschiedenfarbigen und geformten Plättchen, aus denen verschiedene Figuren gelegt werden können, usw.). Verschiedene Spielzeuge, die existieren, entwickeln besonders die Phantasie, etwa Drachen, Puppentheater, Xylophon, Reitpferde aus Karton. Sie beinhalten wenige für die Entwicklung konstruktiver Fähigkeiten erforderliche Ansatzpunkte".

Das gleiche gilt für den indonesischen Erstrechenunterricht. Beim Bilden mathematischer Begriffe ab der ersten Klasse in der Grundschule benutzen indonesische Lehrer sehr selten einige wenige konkrete Dinge, mit denen die Kinder sich selbst aktiv beschäftigen. Nicht deshalb, weil keine solchen Dinge vorhanden sind -in der Natur kann man viele interessante Dinge finden, sie sind billig, einfach, man braucht nur ein bißchen Kreativität, Mühe und Willen-, sondern weil sie sich der Bedeutung der

Theorien zur Begriffsbildung (Piaget, Dienes) nicht bewußt sind oder diese ihnen während ihres Studiums (Lehrerausbildungszeit) nicht bewußt gemacht wurden, d.h. sie diese nicht verinnerlicht haben.

2.3.2 Arbeit mit dem Baukasten "Dynamische Labyrinthe"

Wie wir erwartet hatten, kamen alle untersuchten indonesischen Schüler mit der Arbeit an der Registerkiste zurecht. Aufgrund unserer Beobachtungen haben wir keinen Anlaß, ihnen beim Umgang mit den Ausdrucksmöglichkeiten der S-Form Besonderheiten im Vergleich zu den untersuchten deutschen Schülern zuzusprechen. Beim Umgang mit dem Baukasten "Dynamische Labyrinthe" war das aber zunächst völlig anders.
Bei unserer Teilnahme an Untersuchungen von KAUNE mit den Dynamischen Labyrinthen konnten wir beobachten, daß Schüler, welche diese zum ersten Mal sahen, sie mit dem Spielzeug "Lego" in Verbindung brachten. Dagegen gaben die Schüler in Yogyakarta keine solche Kommentierung. Sie wußten nicht, wofür die Bausteine geeignet sein könnten und wie sie zu gebrauchen wären. Wir hatten deshalb bei unserer Voruntersuchung 1983 in Indonesien die Vermutung, daß die Schüler beim Benutzen dieses Materials Schwierigkeiten haben würden. Diese Vermutung hat sich bestätigt. Damals haben wir das didaktische Material direkt in unseren Untersuchungen eingesetzt, ohne den Schülern eine Vorerfahrung oder ein Training zu geben. Wir wollten unsere Untersuchung formal vergleichbar mit der von KAUNE machen.

Bei allen konstruktiven Aufgaben zeigten die damals untersuchten Schüler kein Interesse daran, beim Lösen der Aufgaben diesen Baukasten zu benutzen. Die Analyse der Videobänder der Einführungsstunde (Additionsalgorithmus) zeigt deutlich, daß sie viele Schwierigkeiten haben, mit dem Material umzugehen. Sie wußten nicht, wie man die verschiedenen Bausteine auf das Brett stecken soll. Sie hatten keine Vorstellung, wie und wofür man diese gebrauchen kann. Obwohl Erfahrungen mit ähnlichem Material keine Garantie sind für die Fähigkeit, mathematische Probleme zu lösen, haben diese doch den Effekt, beim Problemlöser mindestens Selbstvertrauen und Geschicklichkeit zu fördern.

Alle indonesischen Schüler kamen nicht mit dem Material zurecht. Sie wollten lieber die Stäbchen benutzen, um den Algorithmus herauszufinden. Damals schien es uns, daß dieser Einfluß von Erfahrungen mit solchem Material sehr groß ist, wenn wir das Verhalten unserer Versuchspersonen mit dem von ihren Schulkameraden im gleichen Alter in Osnabrück verglichen.

Nach sorgfältiger Analyse der Videobänder der Voruntersuchung von 1983 entschlossen wir uns, für unsere Untersuchung 1984 zunächst eine zusätzliche Übungsstunde mit dem Baukasten einzuschieben. Wir haben aber für diese Übungsstunde die Zähler aus den Baukästen herausgenommen. Unsere indonesischen Schüler haben also in ihrer zusätzlichen Trainingsstunde die für die Aufgaben der Untersuchung wichtigen Bausteine, die Zähler, nicht kennengelernt.

In der ersten Phase haben wir sie irgend etwas nach ihrer Vorstellung bauen lassen. Wir stellten ihnen frei, ob sie lieber allein oder zu zweit spielen wollten. Die meisten von ihnen wollten lieber zu zweit spielen.

In der zweiten Phase mußten sie:
1. einen Weg bauen, der nur einen Eingang und Ausgang hat
   a) der Weg ist gerade
   b) der Weg ist nicht gerade
2. einen Weg mit zwei Eingängen und einem Ausgang bauen
3. einen Weg mit zwei Eingängen und zwei Ausgängen bauen.

In der dritten Phase sollten sie einen Sortierautomaten bauen, mit dem man zwei unterschiedliche Dinge, die nacheinander in den Automaten abwechselnd eintreten, sortieren kann.
Dafür sollten sie
4. einen Flip-Flop, dann
5. eine Weiche benutzen.

Die Aufgaben der zweiten bzw. dritten Phase waren ähnlich denen, die in COHORS-FRESENBORG/FINKE/SCHÜTTE (1979) in den Heften 2 bzw. 3 und 4 zu finden sind.

Ziel dieses Trainings war es zu erreichen, daß die Schüler einerseits eine Vorstellung bekamen, wie und wofür man diese Bausteine gebrauchen kann und daß sie andererseits keine Angst mehr vor diesem neuen Material hatten.

Als Ergebnis des von uns 1984 durchgeführten einstündigen Vortrainings können wir u.a. die Tatsache nennen, daß 9 von 14 Schülern Interesse daran gezeigt haben, die Bausteine zur Darstellung eines Algorithmus' als Rechennetz zu benutzen. Einigen von ihnen gelang es, selbständig das Additionsnetz zu bauen. Es gibt 2 Schüler, die im Verlauf der Untersuchung sogar eine Vorliebe für den Bau von Rechennetzen hatten, um sich mit deren Hilfe die zu konstruierenden Algorithmen zu erarbeiten. Ein Schüler benutzte diese Repräsentationsform als Einstieg zum Konstruieren von Algorithmen bei allen konstruktiven Aufgaben. Fast ohne Hilfe gelang es ihm, die Rechennetze zu bauen. Er hatte aber Schwierigkeiten, den Algorithmus in Programmwortform auszudrücken. Mit dem Rechennetz kam er gut zurecht, mit der Sprache hatte er hingegen Schwierigkeiten. Während des Bauens der Rechennetze summte er manchmal, er hatte Spaß dabei gehabt.

Wir halten diese Tatsache für wichtig, weil nur mit etwas Vorerfahrung unsere Versuchspersonen von 1984 im Vergleich zu ihren Schulkameraden von 1983 große Fortschritte gezeigt haben. Beide Stichproben zeigten in Bezug auf Leistung in der Schule, Schulniveau, Klasse und Sozialniveau keinen Unterschied. Interessant ist außerdem, daß es in Bezug auf Leistungen beim Konstruieren und Analysieren von Algorithmen zwischen unseren Versuchspersonen von 1984 und denen, die in Osnabrück an Untersuchungen teilgenommen haben, keinen signifikanten Unterschied gegeben hat. Wir fällen dieses Urteil aufgrund unserer Erfahrungen in beiden Untersuchungen, obwohl die Aufgaben im Detail nicht genau identisch sind, so daß sich ein einfacher Punktevergleich verbietet.

Dieses Ergebnis hat uns überrascht und ist für die mathematikdidaktische Diskussion wichtig. Der scheinbar große Unterschied in Bezug auf Erfahrung mit solchem Spielzeug ist zwar beobachtbar, läßt sich aber durch erstaunlich wenig Training reduzieren. Unserer Meinung nach war die wichtige Funktion der einen Trainingsstunde nicht in der Vermittlung von Sachwissen über die Bausteine zu sehen (wir erinnern daran, daß die Schüler den für die Untersuchung wichtigen Baustein "Zähler" nicht zu Gesicht bekamen), sondern in einer Förderung des Selbstvertrauens, sich mit diesem Material in eine Problemlösesituation zu begeben und es erfolgreich zu benutzen.

3. Zur Bedeutung verschiedener Algorithmen - Repräsentationsformen für die untersuchten indonesischen Schüler

3.1 Allgemeine Bemerkungen

Erwartungsgemäß sind nicht alle Schüler für jede Art der Repräsentation von Ideen gleichermaßen sensibel. Wie KAUNE (1985b) für den Bereich der algorithmischen Begriffsbildung bei 12- bis 14-jährigen deutschen Schülern gezeigt hat, ist die Bedeutung der Repräsentationsformen unverkennbar. Eine deutliche Mehrheit ihrer Schüler -sowohl begriffliche als auch sequentielle- neigte dazu, sich unbekannte Algorithmen erstmals in der Gestalt von funktionierenden Flußdiagrammen als Dynamische-Labyrinthe-Netze auszudenken. Wir sind nicht sicher, ob sich diese Feststellung für deutsche Schüler dieser Altersstufe im Gymnasium als repräsentativ erweisen wird.

Im Kapitel 2.3.2 hatten wir gezeigt, welche Schwierigkeiten unsere indonesischen Schüler mit dieser Repräsentationsform hatten und wie diese sich beheben ließen. Unsere Untersuchungen haben gezeigt, daß es auch bei den indonesischen Schülern solche gibt, die sich die mathematische algorithmische Welt deutlich aufgrund der Dynamischen Labyrinthe erschließen, denen jedoch ein rascher und erfolgreicher Zugang allein über die formale Programmiersprache, aber auch über die Verwaltung von Speicherplätzen mit der Registerkiste nicht liegt. Damit ist weiter erwiesen, daß die indonesischen Schüler zunächst an der Syntax der Dynamischen Labyrinthe scheiterten und nicht daran, daß ihnen die Möglichkeit fehlt, in den Konstruktionen mit den Bausteinen Bedeutungen einer mathematischen Welt zu erfahren. Der im folgenden genauer vorgestellte Schüler Barus ist dafür ein Beispiel

Es stellt sich die Frage, welches Denken von der N-Form erleichtert wird. Unserer Meinung nach begünstigt und erfordert die N-Form ein Denken, welches das Funktionieren als Grundbegriff kennt. Eine deutliche Begünstigung sehen wir etwa bei Barus. Andererseits zeigen die unsinnigen Verbesserungsvorschläge im Netz von klugen Schülern wie Listi, daß man sich in der

Welt des Funktionierens auch nicht zu Hause fühlen kann. Zur Beschreibung dieses Phänomens hat SCHWANK (1985) den Begriff "funktionales Denken" eingeführt; Schüler wie Barus sind Denker dieser Art, andere wie Listi sind es deutlich nicht.

Die Erfolge von Listi in der S-Form liegen in einem Denken begründet, welches das Eigenschaftenhaben als Grundbegriff hat. Nach SCHWANK (1985) wird es als "prädikatives Denken" bezeichnet. Dieses Denken führt in der S-Form mit weniger Aufwand und damit einfacher zum Ziel als in der N-Form. Ist- und Zielzustand der Fächer der Registerkiste werden durch die Brille "Eigenschaften" miteinander verglichen. Dabei entstehen Relationen, die als Hinweis auf Operationen zur Überführung des einen Zustandes in den anderen dienen. Mit einem Handgriff (z.B. 5 Stäbchen in die Hand nehmen und zusammen in ein ausgewähltes Fach legen) sind sie augenblicklich realisiert. Die Wege zur Erreichung eines Zieles stehen nicht im Zentrum des Nachdenkens.

Nach unseren Ausführungen sehen wir Anlaß zur folgenden Präzisierung der Fragestellung nach den Vorlieben / Bedeutung der Repräsentationsformen für die Schüler:

Ist (bei Schülern dieser Altersstufe und Herkunft) funktionales oder prädikatives Denken weiter verbreitet?

Nach dem derzeitigen Forschungsstand sehen wir keine Möglichkeit, einen begründeten Zusammenhang aufzubauen, der die eine oder die andere Denkform für den Menschen als besonders geeignet / naheliegend erweist und von ihm besonders gern angewendet wird.
Natürlich kann ein Spielzeug wie Dynamische Labyrinthe die Schüler in einer Weise motivieren, daß Vorlieben für bestimmte Denkformen überdeckt werden, insbesondere, wenn keine der Denkformen stark ausgeprägt ist. Hier sehen wir eine Erklärungsmöglichkeit für das Ergebnis von KAUNE. Ihre Schüler zeichnen sich nicht durch hohe mathematische Leistungsfähigkeit aus.

Damit wird die neu gefaßte Fragestellung spannend und das Finden einer Antwort notwendig für die Förderung der leistungsstarken sowie der leistungsschwachen Schüler. Letztlich können Faktoren wie Motivation nicht das Denken ersetzen, sondern nur dessen Erfolg beeinflussen. Erst in ihrer ureigenen Denkform werden diese Schüler eine Leistung erbringen, die ihrer würdig ist.

Zum Abschluß dieser Vorüberlegungen sollen noch einige grundsätzliche Gedanken zur Bedeutung der Repräsentationsformen beim Lösen der gestellten algorithmischen Aufgaben gemacht werden. Vergleicht man den Ansatz von SCHWANK (1985) mit dem von KAUNE (1985b), so trifft man dort statt auf **"funktional-prädikativ"** auf das Begriffspaar **"sequentiell-begrifflich"**. Letzteres ist für die Beschreibung von Denkstrategien gewählt worden. Die beiden unterschiedlichen Konzepte lassen sich dadurch erklären, daß SCHWANK das Augenmerk auf die Denkstrukturen in der Objektebene und KAUNE das Augenmerk auf die darüber liegende Problemlösestruktur richtet. Von der Konzeption her ist es denkbar, daß die beiden Begriffspaare voneinander unabhängig sind. Vergleicht man die neuere Konzeption von SCHWANK mit der theoretischen und experimentellen Analyse von KAUNE, so könnte dieser Unterschied zu einer Klärung des von KAUNE beschriebenen Phänomens beitragen, wieso die Wahl der Repräsentationsform nicht in jedem Fall mit einer Vorliebe für eine der beiden Denkstrategien verbunden ist. Wir sehen dies als Hinweis für unsere Behauptung an, daß es sehr wohl möglich ist, in einer funktionalen Grundstruktur eine begriffliche Problemlösestruktur zu haben und daß es (s. Verhalten im Netz von Sriat, Kap.5) für eine prädikative Grundstruktur auch Möglichkeiten zu einer sequentiellen Problemlösestruktur gibt.

3.2 Gewählte Repräsentationsformen für Algorithmen

3.2.1 Vorkommende Repräsentationsform-Folgen bei k-Aufgaben

Mit dem Untersuchungsdesign sind den Schülern die 4 verwendbaren Repräsentationsformen nicht gleichermaßen frei zur Auswahl gestellt, so daß auch nicht jedes Wort über {N,P,S,n} als Darstellung einer Schülerwahl zu erwarten ist. Es konnte nicht Anliegen dieser ersten Untersuchung über die algorithmische Begriffsbildung einiger indonesischer Schüler sein, das Zurechtkommen der Schüler mit den Repräsentationsformen in beliebiger Kombination zu erforschen. Die vorliegende Untersuchung soll einen Beitrag leisten zur Diskussion über Wege, indonesischen Schülern informatische Inhalte nahezubringen. Dazu soll insbesondere die heutzutage im Vordergrund stehende Rolle einer formalen Programmiersprache mit bei der Hinterfragung berücksichtigt werden.

Die Umsetzung ist in einer Weise erfolgt, die nicht das Spezifische einer Programmiersprache in das Zentrum der Fragestellung rückt, sondern die dahinter liegenden Ideen des Algorithmus'. Die Schüler werden mit Registerkiste und Dynamischen Labyrinthen in die algorithmische Welt eingeführt. Letztendlich wird von jedem Schüler bei den k-Aufgaben die Darstellung des Algorithmus in P-Form verlangt. Innerhalb dieses Freiraumes sollten die Vorlieben und die Offenheit der Schüler für bestimmte Repräsentationsform-Folgen getestet werden. In der Untersuchung erwies sich, daß die mit der 1. Aufgabe vorgeführte Reihenfolge (S N/n P) und insbesondere das Vormachen, wie man anfängt, eine gestellte k-Aufgabe zu lösen (S), die indonesischen Schüler offensichtlicht geprägt haben. Aufgrund ihrer schulischen Erziehung sind sie allgemein darauf bedacht, vom Lehrer Vorgesetztes einfach als Kopie in ihr Verhalten zu übernehmen. Wir halten den Einfluß dieser Tatsache auf die dem Schüler "frei" überlassene Wahl der Repräsentationsform für deutlich stärker als z.B. ihr Unbehagen gegenüber der N-Form, begründet in mangelnden umfangreichen Erfahrungen mit Spielmaterial wie den Dynamischen Labyrinthen. (Zu bemerken ist sicher auch eine Vorliebe des VL's für ein Denken in einer S-Form-Welt im Vergleich zu einer N-Form-Welt. Bei einer Verfeinerung des Untersuchungsdesigns und dem Training zukünftiger Versuchsleiter sind Vorsorgemaßnahmen zu treffen, z.B. in Form von besonderen Markierungen in der Hilfenstruktur.)

Wir haben unsere Beobachtungen über die gewählten Repräsentationsformen-Folgen in der Tabelle 3.1 zusammengefaßt.

Tabelle 3.1

Übersicht: Gewählte Repräsentationsformen für die Algorithmen

Nr	Name MFF/APM	gewählte Repräsentationsform bei konstruktiven Aufgaben 1.2 k	2.1 k	2.2 k	3.1 k	4.1 k	4.2 k	Typ nach gewählter Repräsentationsform insgesamt		bezüglich Einstieg		Leistung (Rang) bei k-Aufgaben	a-Aufgaben	gewählte Repräsentationsform bei analytischen Aufgaben 2.3 a	3.2 a	3.3 F	4.6 F
1	Anung R/21	S N P	P	P S P !	S N P	P	S P	W(SNP)	2 SNP 2 P 1 PS P 1 S P	W(SP)	3 S 3 P	11.2(-)	14(-)				
2	Arus I/30	P S P !	P	S P	S P	P S P	P	W(S P)	2 PS P 2 P 2 S P	P	4 P 2 S	5.1(+)	8.2				
3	Barus R/39	N P	N P	N P	N P	N P	N P	NP		N		1(+)	5(+)				n
4	Kesi R/37	S P	S P	S P	S P	S P	S P	S P		S		8.1	1.1(+)				
5	Listi R/31	S N P	S P	S N P	S P	S P	S P	S P	4 S P 2 SNP	S		3.1(+)	1.2(+)			P	
6	Lusi I/34	P	P	P	P	P	P	P		P		2(+)	11.3(-)				
7	Luti I/20	P	S P	S P	S P	S P	S P	S P	5 S P 1 P	S	5 S 1 P	8.2	11.1(-)		S		S
8	Mangi I/32	S N P	N P	N P	S N P	N n P !	n P	W(SNnP)	2 SNP 2 NP 1 N nP 1 nP	N	3 N 1 n 2 S	7	6.1				
9	Meri R/34	n N P !	n P	n P	n P	n S n P !	n P	nP	4 nP 1 nSnP 1 n NP	n		13(-)	8.1				
10	Mulia R/30	N S P !	S P	S P	S P	S P	S P	S P	5 S P 1 NS P	S	5 S 1 N	10(-)	6.2				S
11	Rudin R/32	N n P	S P	S P	S P	S P	P	S P	4 S P 1 P 1 N nP	S	4 S 1 N 1 P	5.2	3.2(+)				
12	Seno I/ 6	N S N P !	S N P	S P	S P	S P	S P	S P	4 S P 1 NSNP 1 SNP	S	5 S 1 N	11.1(-)	11.2(-)	N			N
13	Sriat I/20	S N P	S N P	S N P	S N P	S P	P	SNP	4 SNP 1 S P 1 P	S	5 S 1 P	3.2(+)	3.1(+)				S*
14	Sulin I/24	S N P	S N P	S N P	S P	S P	S P	W(SNP/SP)	3 SNP 3 S P	S		14(-)	10(-)				S

In dieser Tabelle bedeutet:

S Stäbchenhandlung
N Netz
n Netzzeichnung
P Programmwort

Unter diesen Buchstaben ist folgende Kennzeichnung angebracht:

✓ Es gelingt Sch., das Netz mit verdeckten Zählerfenstern zu bauen.
! Sch. wählt Repräsentationsform aufgrund Hilfe des Vl's.
S* Sch. bittet zuerst um Stäbchen, aber Vl. schlägt vor, das Problem ohne Stäbchen zu lösen.

Wir werden die bei den insgesamt 84 Lösungen der k-Aufgaben beobachteten Repräsentationsformen-Folgen (vgl. Tabelle 3.1) im folgenden in drei Gruppen kommentieren.

1. Einstieg S-Form (49), davon SNP-Folge (14) und SP-Folge (35)

In 49 von 84 Fällen verwenden Schüler die S-Form beim ersten Erfinden eines Algorithmus (vgl. Einführungsbeispiel!).
Ein anschließender Transfer in die N- bzw. n-Form wird in der letzten Stunde von keinem Schüler mehr angeboten. Um das eigentlich geforderte Programmwort zu finden, ist dieser (laut Untersuchungsdesign nie explizit geforderte) Schritt für sie unnötige oder gar beschwerliche Arbeit (s. z.B. Listi 2.2k in N-Form).
In 35 Fällen wählen Schüler die SP-Folge. Nur in den ersten 3 Stunden wird 14 mal die SNP-Folge ausgesucht, davon 5 Fälle allein in der ersten, den Schülern zur eigenständigen Lösung gestellten Aufgabe. Offensichtlich ist es den Schülern in einem Entwicklungsstadium bis zur 4. Untersuchungsstunde lieber, ihre Ideen erst einmal (z.B.) in der S-Form zu finden und erst dann den Algorithmus in der P-Form zu repräsentieren.

2. Ausschließlich P-Form (13) und PSP-Folge (3)

Der Untersuchungsaufbau legt die Schüler darauf fest, als abschließendes Ergebnis bei der Lösung von k-Aufgaben ein RM-Programm-Wort zu liefern. In 13 Fällen geben Schüler den gesuchten Algorithmus sofort und ausschließlich in der P-Form an. In 3 weiteren Fällen greifen Schüler nur aufgrund eines Hilfeneingriffs des VL's auf die S-Form zurück, bleiben sonst aber in der P-Form. Besonders deutlich wird der Hang zur schnellen Lösung bei 2 Schülern: der impulsiven Lusi, die alle 6 k-Aufgaben allein in der P-Form löst und dem ebenfalls impulsiven Arus, der in 4 der k-Aufgaben versucht, sofort den Algorithmus als Programmwort anzugeben.

3. NP-Folge (8), np-Folge (5) und NnP-Folge (2) sowie in NP-, NSP-, nSnP- und NSNP-Folge (je 1)

Spannend ist, daß trotz der oben angesprochenen Phänomene in 19 Fällen Schüler die N- bzw. n-Form beim Einstieg verwenden. Besonders bemerkenswert ist die Leistung von Barus, der alle 6 k-Aufgaben auf dem Weg der NP-Folge mit großem Erfolg löst. Genauso eindeutig entscheidet sich Meri, wenn auch mit deutlich geringerem Erfolg, für die nP-Folge; je eine nNP- und nSnP-Folge entstehen aufgrund notwendig gewordener Hilfestellungen des VL's. Man beachte, daß Meri nach einer Hilfe, die sie auf die N-Form führt, direkt das Programmwort legt, sie aber nach einer Hilfe der S-Form erst wieder in die n-Form überwechselt.

Die ausgeprägte Neigung von Barus zur N-Form, die ihn zu erstklassigen algorithmischen Leistungen befähigt und sein "Versagen" dagegen in der P-Form (z.B. sein Lösungsweg zu 4.6 F: bevor er den in P-Form repräsentierten fehlerhaften Algorithmus in die n-Form überträgt, verliert er sich in dem Programmwort, ohne eine Chance zu haben, hinter dessen Sinn zu kommen), überzeugen von der Idee einer algorithmischen Befähigung, die nicht notwendigerweise über den Weg einer formalen Programmiersprache geweckt werden kann. Bei solchen Schülern bietet sich ein Weg an, sie zunächst die algorithmische Idee in einer N-Form-Welt

entwickeln zu lassen und anschließend die Programmiersprache als Worthülsen zu benutzen, in die fertige Ideen hineingesteckt werden (dieser Teil ist, wie sich für die RM-Sprache gezeigt hat, sehr leicht erlernbar, handelt es sich doch nur um eine einfache, lokale Übersetzung mit je zwei Vokabeln und Grammatikregeln). Die Programmiersprache selbst muß nicht Bedeutung liefern.
Eine wichtige Eigenschaft eines Algorithmus ist sein **Funktionieren.** Diese ist par excellence beim Umgang mit den Dynamischen Labyrinthen erfahrbar. Wie das Phänomen Listi 2.2k zeigt, der im Netz nicht allein weiterkommt, sind nicht alle Schüler selbständig zu dieser Erfahrung in der Lage. Dazu weiter unten mehr.

3.2.2 Ausgeprägte Vorlieben für Repräsentationsform-Folgen und Erfolg beim RAVEN-Test

Beim Betrachten der Tabelle fällt auf, daß nur die 3 im RAVEN APM-Test besten Schüler eine Lösungsstrategie bezüglich der Wahl der Repräsentationsformen haben, die sie ohne Ausnahme bei allen 6 k-Aufgaben anwenden. Zusätzlich bemerkenswert wird diese Beobachtung dadurch, daß die 3 Schüler 3 unterschiedliche Strategien benutzen:

Barus	(39 APM-Punkte)	: NP
Kesi	(37 APM-Punkte)	: SP
Lusi	(34 APM-Punkte)	: P.

Diese Beobachtung kann man folgendermaßen kommentieren: Der Erfolg im APM-Test setzt u.a. voraus, daß ein Schüler in den Figuren das Wesentliche bemerkt. Auch beim Konstruieren von Algorithmen ist es notwendig, daß man bemerkt, worauf es ankommt, und es ist nützlich, daß man sich dieser Erkenntnis bewußt ist. Ein intelligenter Schüler wird mit dem, was er sieht, arbeiten. Dieses kann so interpretiert werden, daß die Welt, in der man bisher erfolgreich gedacht hat, für die Welt genommen wird, in der man bevorzugt weiterdenkt. Daraus kann eine beobachtbare Vorliebe für eine Repräsentationsform entstehen.

3.2.3 Wahl von Repräsentationsformen bei k-Aufgaben im Vergleich zu a-Aufgaben

Unsere Bemerkungen über die Bedeutung von Repräsentationsformen stützte sich bisher nur auf die k-Aufgaben. Die Beobachtung der Schüler hat gezeigt, daß die unterschiedlichen Repräsentationsformen im wesentlichen nur für die k-Aufgaben von Bedeutung sind. Dieses liegt aber nicht daran, daß diese Wahl nicht auch für analytisch orientierte Aufgabenstellungen wichtig wäre, sondern im wesentlichen wohl daran, daß das Versuchsdesign bei den analytischen Aufgaben nahezu ausschließlich einen Einstieg in der P-Form vorgibt. Es ist so nicht verwunderlich, daß nahezu alle Schüler auch die P-Form als Repräsentationsform beibehalten. Insbesondere bei denjenigen a-Aufgaben, bei denen nach der Schrittzahl gefragt ist, ist die gesamte Begriffsbildung "Schrittzahl" dem Schüler überhaupt nur in der Repräsentationsform P dargeboten worden.
Diese Schwäche des Untersuchungsdesigns ist aber nicht nur dafür verantwortlich, daß zum Problemkreis der bevorzugten Repräsentationsformen bei a-Aufgaben sich keine Feststellungen machen lassen, sondern evtl. noch viel tiefgreifender dafür, daß das bei den Schülern beobachtete Leistungsprofil in den a-Aufgaben in denjenigen Fällen verzerrt ist, in denen die Schüler ihre algorithmische Welt nicht in der P-Form aufgebaut haben. Hierbei ist insbesondere an diejenigen funktionalen Schüler zu denken, welche die N-Form beim Erfinden von Algorithmen bevorzugt haben.

Bei der Betrachtung des Schülerverhaltens bei k-Aufgaben kann man sein Augenmerk darauf richten, inwieweit ein Zusammenhang zwischen dem Erfolg und den benutzten Repräsentationsformen besteht. Unsere Behauptung, daß die Wahl der Repräsentationsformen ein Zeichen für die Begriffswelt ist, in der Schüler sich mit den Problemen auseinandersetzen, und nicht ein Zeichen für eine mehr oder weniger große Abstraktionshöhe im Sinne einer Begriffsbildungshierarchie, sehen wir darin bestätigt, daß die 4 erfolgreichsten Schüler bei k-Aufgaben folgendes Verhalten zeigen:

1.	Barus	NP
2.	Lusi	P
3.1	Listi	SP
3.2	Sriat	SNP

Betrachtet man bei den analytischen Aufgaben die Gruppe der leistungsstarken Schüler, die in diesem Fall 5 Personen umfaßt, so fällt folgendes auf: Unter diesen sind einmal Schüler, die auch zu den leistungsstärksten Schülern bei den k-Aufgaben gehören, Barus, Listi und Sriat. Barus zeichnet sich auch hier dadurch aus, daß er die von ihm bevorzugte Repräsentationsform der Netze wählt: Er übersetzt das Programmwort in ein Netz und löst die Aufgabe in dieser Form. Listi versucht zunächst bei der Fehleranalyse 3.3 F, die in Netzform gegeben ist, diese zu lösen. Weil er dabei keinen Erfolg hat, wählt er nun die Repräsentationsform der Programmworte, erfindet in dieser Form eine Lösung für die konstruktive Aufgabe, übersetzt diese in ein Netz und präsentiert dieses als die Lösung des Problems, in einem gegebenen Netz einen Fehler zu reparieren. Sriat versucht die Fehleranalyseaufgabe 4.6 F, die in Programmform gegeben ist, dadurch zu lösen, daß sie zu den Stäbchen greift. Sie wird aber vom Versuchsleiter davon abgebracht und schafft trotzdem die Lösung in der P-Form.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß diese 3 leistungsstarken Schüler aktiv die ihnen gemäße Repräsentationsform zur Problemlösung wählen, auch wenn sie durch die Aufgabe nicht vorgegeben ist.

Bei den schwachen Schülern fällt auch noch eine Gruppe auf: Es sind die impulsiven. Diese beginnen einen Aktivismus mit Stäbchen oder Netzen, ohne daß sich eine zielstrebige Problemlösestrategie erkennen läßt.

3.2.4 Gewählte Repräsentationsformen und Anzahl der jeweils benötigten Hilfen unter besonderer Berücksichtigung der Einstiegs- und Transferphase bei den k-Aufgaben

Denkt man über die Bedeutung der Repräsentationsformen für die Schüler nach, interessiert als Tatbestand einerseits, welche dieser Formen gewählt werden und andererseits, wie sich die Schüler nach ihrer Wahl zurechtfinden. Bislang haben wir ausführlich Stellung genommen zu den Schülerformenwahlen, sind jedoch auf die Beleuchtung ihres Zurechtkommens damit nur wenig eingegangen. Allein der Gesamterfolg bei der Lösung einer Aufgabe ist in unsere Argumentationen eingeflossen.

Weitere wichtige und wissenswerte Informationen erbringt ein genaueres Hinsehen bei den k-Aufgaben. Im Lösungsweg dieser Aufgabensorte lassen sich 2 Phasen unterscheiden:

1. Der gesuchte Algorithmus wird erfunden.
2. Der erarbeitete Algorithmus wird in einer weiteren Repräsentationsform ausgedrückt.

Die Anforderungen in beiden Teilen sind sehr verschieden und damit die Bedeutung der jeweils gewählten Repräsentationsformen.

1'. Die Repräsentationsform ist Mittel zum Nachdenken, Finden von Ideen.
2'. Die Repräsentationsform ist Objekt, das gemäß einer fertigen Vorstellung gehandhabt wird.

So wird in 1. mehr in der Repräsentationsform nachgedacht - angewendet auf das Objekt "Aufgabenstellung"- und in 2. mehr über die Repräsentationsform - unter Anwendung des Mittels der bereits gefundenen algorithmischen Vorstellung. Zu den einzelnen Leistungen der Schüler siehe Tabellen 3.2,3.3,3.4 am Ende dieses Auswertungspunktes.

Betrachtet man den Erfolg, welchen die Schüler in beiden Phasen haben, so fällt folgendes auf: In den unteren zwei Dritteln der

Leistungsskala benötigen die Schüler relativ wenig Hilfen bei der Transferphase im Vergleich zu der Anzahl der benötigten Hilfen in der Problemlösungsphase 1. Bei den 4 leistungsstärksten Schülern fällt auf, daß diese kaum Hilfen in der ersten Phase benötigen und in der Transferphase nahezu noch einmal genauso viel Hilfen wie in der ersten Phase.

<u>Vergleich:</u> Einstiegshilfen - Transferhilfen

Differenz E-T	Einstiegs-hilfen E	Transfer-hilfen T	Namen
-1	1	2	Barus
-2	4	6	Rudin
3	6	3	Listi, Sriat
4	--	--	------------
5	--	--	------------
6	9 10	3 4	Kesi Anung, Seno
7	--	--	------------
8	14	6	Sulin
9	11	2	Mulia
10	10 11	0 1	Arus Luti
11	11 15	0 4	Mangi Meri

Bei Lusi, die ausschließlich in der P-Form arbeitet, entfällt der Vergleich.

Besonders bemerkenswert ist ein Vergleich der beiden Schüler Rudin und Mangi. Rudin benötigt 4 Einstiegshilfen und 6 Transferhilfen, während Mangi 11 Einstiegshilfen und keine Transferhilfe benötigt. Zunächst deuten diese Befunde darauf hin, daß das Verhalten von Einstiegsproblemen zu Transferproblemen nicht für alle Schüler als eine einheitliche Problemklasse interpretiert werden kann. Weder stellen die von uns als Transferaufgaben eingestuften Probleme in jedem Fall eine höhere Anforderung, noch kann man bei jedem Schüler die Feststellung treffen, daß für ihn der Übergang in eine andere Repräsentationsform wesentlich leichter sei als das erstmalige Finden einer Problemlösung. Uns scheint diese Beobachtung interessant zu sein, auch wenn wir keine geschlossene Interpretation für dieses Phänomen anbieten können. Eine Interpretation könnte sein, daß ein Schüler, der beim erstmaligen Erfinden viele Hilfen benötigt hat, sich mit dem Problem besonders intensiv auseinandergesetzt hat, so daß er bei der Transferaufgabe mit sehr wenig Hilfen auskommt. Diese Erklärung ist unbefriedigend, denn Mangi hat 11 Hilfen benötigt (er ist nahezu zu der Lösung "getragen" worden), Rudin hat die Algorithmen im wesentlichen selbst erfunden. Man kann sich nicht vorstellen, daß er dann weniger von dem Algorithmus verstanden hat als Mangi. Vielleicht kann man den Unterschied am besten dadurch erklären, daß man annimmt, daß ein kreativer Schüler sich beim Transfer noch (unnütze) Gedanken macht, die ihn auch in neue Problemsituationen führen können, während der schwächere Schüler relativ automatisch das Naheliegende bei der Übersetzung tut. Es scheint so, als ob für den kreativeren Schüler in solchen Situationen seine Reflexion eher hinderlich sei. Dabei ist zu bedenken, daß diese Aufgaben für alle Schüler neu sind und die Schüler sich für die Problemlösungen erst noch eine "Theorie" zurechtlegen müssen. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß das hier beschriebene Phänomen sich bei den späteren Aufgaben nicht mehr findet.

Tabelle 3.2

Erfinden eines Algorithmus: benötigte Hilfen bei der jeweils ersten gewählten Repräsentationsform

Nr	Name	S-Form						S-Hilfen	N-Form						N-Hilfen	n-Form						n-Hilfen	P-Form						P-Hilfen	
		1.2 k	2.1 k	2.2 k	3.1 k	4.1 k	4.2 k		1.2 k	2.1 k	2.2 k	3.1 k	4.1 k	4.2 k		1.2 k	2.1 k	2.2 k	3.1 k	4.1 k	4.2 k		1.2 k	2.1 k	2.2 k	3.1 k	4.1 k	4.2 k		SNnP-Hilfen
1	Anung	2		11	0		2	5																0	5		0		5	10
2	Arus	11		3	0	11		5															4	0			1	0	5	10
3	Barus								0	0	1	0	0	0	1															1
4	Kesi	1	1	3	0	2	2	9																						9
5	Listi	0	0	0	0	1	5	6																						6
6	Lusi																						1	1	4	1	0	0	7	7
7	Luti		1	5	1	0	2	9															2						2	11
8	Mangi	1			0			1		0	4		3		7						3	3								11
9	Mari															1	0	7	1	5	1	15								15
10	Mulia		2	4	0	2	0	8	3						3															11
11	Rudin		0	2	0	2		4	0						0													0	0	4
12	Seno		0	3	0	5	0	8	2						2															10
13	Sriat	0	0	3	0	2		5																				1	1	6
14	Sulin	3	0	3	0	3	5	14																						14
	ΣS	7	8	10	11	9	7	11	4	2	2	1	2	1	5	1	1	1	1	1	2	2	3	3	2	1	3	4	6	14
	$\emptyset$	2	5	1	10	1	2	0	2	2	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	3	1	0
	ΣH	8	4	27	1	18	16	74	5	0	5	0	3	0	13	1	0	7	1	5	4	18	7	1	9	1	1	1	20	125
	$\Sigma H / \Sigma S$	1.14	0.5	2.70	0.09	2.00	2.29	6.73	1.25	0	2.5	0	1.5	0	2.6	1	0	7	1	5	2	9	2.33	0.33	4.5	1	0.33	0.25	3.33	8.93

ΣS Anzahl der Schüler, die angegebene Repräsentationsform benutzen

$\emptyset$ Anzahl der Schüler, die keine Hilfe benötigten

ΣH insgesamt von den Schülern benötigte Hilfen

$\Sigma H / \Sigma S$ durchschnittlich benötigte Hilfen

Tabelle 3.3

Erfinden eines Algorithmus: benötigte Hilfen nachdem Algorithmus bereits in einer Repräsentationsform vorliegt

Nr	Name	S-Form						S-Hilfen	N-Form						N-Hilfen	n-Form						n-Hilfen	P-Form						P-Hilfen	Transfer-Hilfen
		1.2 k	2.1 k	2.2 k	3.1 k	4.1 k	4.2 k		1.2 k	2.1 k	2.2 k	3.1 k	4.1 k	4.2 k		1.2 k	2.1 k	2.2 k	3.1 k	4.1 k	4.2 k		1.2 k	2.1 k	2.2 k	3.1 k	4.1 k	4.2 k		
1	Anung								1			0			1								3			0		0	3	4
2	Arus																								0	0			0	0
3	Barus																						0	1	0	1	0	0	2	2
4	Kesi																						2	0	0	1	0	0	3	3
5	Listi								0		2				2								1	0	0	0	0	0	1	3
6	Lusi																													
7	Luti																							0	1	0	0	0	1	1
8	Mangi								0			0			0								0	0	0	0	0	0	0	0
9	Meri																						0	0	2	2	0	0	4	4
10	Mulia																						0	0	1	0	1	0	2	2
11	Rudin															0						0	0	3	3	0	0		6	6
12	Seno									0					0								2	0	2	0	0	0	4	4
13	Sriat								0	0	3	0			3								0	0	0	0	0		0	3
14	Sulin								0	0	3				3								1	1	0	0	1	0	3	6
	ΣS								5	3	3	3			6	1						1	11	11	12	13	11	10	13	13
	∅								4	3	0	3			2	1						1	6	8	7	10	9	10	3	2
	ΣH								1	0	8	0			9	0						0	9	5	9	4	2	0	29	38
	ΣH / ΣS								0.2	0	2.67	0			1.5	0						0	0.82	0.45	0.75	0.31	0.18	0	2.23	2.92

ΣS Anzahl der Schüler, die angegebene Repräsentationsform benutzen

∅ Anzahl der Schüler, die keine Hilfe benötigten

ΣH insgesamt von den Schülern benötigte Hilfen

ΣH / ΣS durchschnittlich benötigte Hilfen

Tabelle 3.4

Erfinden eines Algorithmus: benötigte Hilfen bei jeweils allen gewählten Repräsentationsformen

Nr	Name	S-Form						S-Hilfen	N-Form						N-Hilfen	n-Form						n-Hilfen	P-Form						P-Hilfen	SNnP-Hilfen
		1.2 k	2.1 k	2.2 k	3.1 k	4.1 k	4.2 k		1.2 k	2.1 k	2.2 k	3.1 k	4.1 k	4.2 k		1.2 k	2.1 k	2.2 k	3.1 k	4.1 k	4.2 k		1.2 k	2.1 k	2.2 k	3.1 k	4.1 k	4.2 k		
1	Anung	2		1	0		2	5	1			0			1								3	0	5	0	0	0	8	14
2	Arus	1		3	0	1		5															4	0	0	0	1	0	5	10
3	Barus								0	0	1	0	0	0	1								0	1	0	1	0	0	2	3
4	Kesi	1	1	3	0	2	2	9															2	0	0	1	0	0	3	12
5	Lasti	0	0	0	0	1	5	6	0		2				2								1	0	0	0	0	0	1	9
6	Lusi																						1	1	4	1	0	0	7	7
7	Luti		1	5	1	0	2	9															2	0	1	0	0	0	3	12
8	Mangi	1			0			1	0	0	4	0	3		7						3	3	0	0	0	0	0	0	0	11
9	Meri					0		0	0						0	1	0	7	1	5	1	15	0	0	2	2	0	0	4	19
10	Mulia	0	2	4	0	2	0	8	3						3								0	0	1	0	1	0	2	13
11	Rudin		0	2	0	2		4	0						0	0						0	0	3	3	0	0	0	6	10
12	Seno	0	0	3	0	5	0	8	2	0					2								2	0	2	0	0	0	4	14
13	Sriat	0	0	3	0	2		5	0	0	3	0			3								0	0	0	0	0	1	1	9
14	Sulin	3	0	3	0	3	5	14	0	0	3				3								1	1	0	0	1	0	3	20
	ΣS	9	8	10	11	10	7	12	10	5	5	4	2	1	10	2	1	1	1	1	2	3	14	14	14	14	14	14	14	14
	Ø	4	5	1	10	2	2	1)	7	5	0	4	1	1	(2)	1	1	0	0	0	0	(1)	6	10	7	10	11	13	1	0
	ΣH	8	4	27	1	18	16	74	6	0	13	0	3	0	22	1	0	7	1	5	4	18	16	6	18	5	3	1	49	163
	ΣH / ΣS	0.89	0.5	2.7	0.09	1.8	2.29	6.17	0.6	0	2.6	0	1.5	0	2.2	0.5	0	7	1	5	2	6	1.14	0.43	1.29	0.36	0.21	0.71	3.5	11.64

ΣS Anzahl der Schüler, die angegebene Repräsentationsform benutzen

Ø Anzahl der Schüler, die keine Hilfe benötigten

ΣH insgesamt von den Schülern benötigte Hilfen

ΣH / ΣS durchschnittlich benötigte Hilfen

3.3 Interpretation der Ergebnisse

In unseren Ergebnissen der vorkommenden Repräsentationsform-Folgen sehen wir zweierlei: Einmal kann nicht erwartet werden, daß für Schüler, die sich in einer algorithmischen Welt der S-Form-Prägung zurechtfinden, nicht aber in einer solchen der N-Form, die gleiche Programmiersprache (derselbe Aufbau von Software-Paketen, die gleiche Art eines Umgangs mit Software-Engeneering) als Einstieg in die Informatik geeignet ist wie für solche, die in der N-Form zuhause sind. Letztendlich kann man sich in die S-Form leicht prädikativ einfinden, in die N-Form erfolgreich und eigenständig nur mit ein wenig funktionalem Gespür (siehe z.B. Listi 2.2k -Lösung in N-Form nach S-Form). Dieses ist umso mehr zu bedenken, als daß die Schüler (mit höherem Schulniveau) bislang begrifflich / prädikativ gut trainiert sind und damit sensibilisiert für das Eigenschaften-erfassen von Dingen, deren Ausprägung und ihre Relationen untereinander, nicht aber für ein Begreifen von zeitlichen Vorgängen in ihrem kontinuierlichen Werden und den Elementen, die ihr Funktionieren bestimmen.

Zum anderen zeigt sich, daß die Schüler mit Hilfe der verschiedenen Repräsentationsformen einen sehr raschen und eigenständigen Zugang zu grundlegenden informatischen Inhalten bekommen. Die leistungsstarken Schüler beeindrucken.

Die in dieser Arbeit erbrachte Analyse des Schülerverhaltens zeigt deutlich, daß das Problem, eine Programmiersprache im Sinne einer Fremdsprache zu erlernen und damit Ideen auszudrükken, die man schon in der gewünschten Art hat, von weit unbedeutenderem Stellenwert ist als der Erwerb von Fähigkeiten, der Aufbau von Begriffsnetzen, Tätigkeitskonzepten, die einen Vorstellungen zur algorithmischen Handhabung von Problemen entwickeln lassen. Diese Aussage behält auch ihre Gültigkeit für Schüler, die nicht mit Programmiersprachen umgehen, sondern mit Software-Systemen. Die mit dieser Untersuchungsart begründete Forschungsrichtung reicht mit ihren Ergebnissen in ihren Ansätzen weit in Grundlagen für zukünftig notwendige Curriculumentwicklungen.

Es ist zu hoffen, und wir werden daran mitarbeiten, daß diese Ergebnisse und eine Weiterführung der begonnenen Forschungsrichtung von Anfang an beim bevorstehenden Nachdenken über eine Reform des indonesischen Mathematikunterrichts berücksichtigt werden und nicht wieder vorschnell dem Fehler verfallen wird, westliche Fertigprodukte zu importieren.

4. Leistung bei a- und k-Aufgaben

In der Tradition der von uns weitergeführten Forschungsrichtung (vergl. KAUNE 1985b) werden die Leistungen von Schülern beim Umgang mit Algorithmen unter den beiden Aspekten Konstruktion und Analyse getrennt untersucht und ausgewertet.

Zunächst einmal richten wir unser Augenmerk auf die **Leistungsdimension:**
Zu jeder von uns vorbereiteten Aufgabe haben wir eine Menge von Hilfen vorgesehen. Für jede dieser Hilfen wurde vorab ein sogenannter Diagnosepunkt festgelegt, an dem über die Vergabe der Hilfe entschieden wurde (s.Anhang). Durch diese Vorgabe einer Hilfenstruktur wurde die Untersuchungssituation weiter standardisiert. Für die Auswertung wurde zunächst nach gründlichem Betrachten der Videobänder festgestellt, welche Hilfen gegeben wurden. Die vorab verabredeten Hilfen dienten also auch nach der Untersuchung als Kategoriensystem zur Auswertung der "Interviews".

Wenn im folgenden davon gesprochen wird, daß eine VP eine Hilfe "benötigt" hat, meinen wir damit, daß in einer bestimmten Situation der Versuchsleiter entschieden hat, der Vp diese Hilfe zur Bewältigung einer diagnostizierten Schwierigkeit zu geben. Bei der Durchführung unserer Untersuchung mit den indonesischen Schülern wurde es notwendig, an einigen Stellen Hilfen zu geben, die vorab nicht geplant waren. Insgesamt wurden bei k-Aufgaben 23 und bei a-Aufgaben 41 Extra-Hilfen gegeben. Andere, vorab eingeplante Hilfen wurden von keinem Schüler in Anspruch genommen.

In die Tabellen 4.1 und 4.2 sind nur diejenigen Hilfen (E bedeutet Extra-Hilfe) aufgenommen worden, die wenigstens einmal gegeben worden sind. Für jede Repräsentationsform sind die benötigten Hilfen getrennt eingetragen. Dabei kann es vorkommen, daß ein Schüler in verschiedenen Repräsentationsformen die "gleiche" Hilfe erhalten hat. Diese ist dann auch mehrfach bei der "Summe der benötigten Hilfen" gezählt worden. Die Ziffern bei den Schülern geben die Reihenfolge an, in der die Hilfen gegeben worden sind. Rechts unten in Tabelle 4.1 ist die Summe der benötigten Hilfen nach den drei Repräsentationsformen (S, Nn, P) getrennt ausgewiesen. In der Tabelle 4.2 ist rechts unten die Summe nach den drei Typen von a-Aufgaben (Funktion, Rechenschritte, Fehleranalyse) getrennt aufgeführt. Zur Abschätzung der **Leistungsdimension** haben wir die Anzahl der gegebenen Hilfen addiert. (Die Prozentzahlen beziehen sich auf die Anzahl der (wenigstens einmal) gegebenen Hilfen (Tabellen 4.3 - 4.5)). Wir glauben, wegen unserer Bemühungen um Standardisierung der Untersuchungssituation dazu eine gewisse Berechtigung zu haben, auch wenn wir nicht nachweisen können, daß die meßtheoretischen Voraussetzungen gegeben sind. Zieht man die so erhaltenen Punktwerte zu einer Leistungsbeurteilung heran, so fällt mehreres auf:

Die nach a- und k-Aufgaben getrennt aufgestellten Ranglisten (Tab. 4.3 und 4.4.) stimmen deutlich nicht überein. Wegen der schon bei KAUNE (1985b) vorgebrachten Bedenken wollen wir nicht durch eine Rechnung zu einem Begriff "konstruktiver" bzw. "analytischer Denktyp" kommen. Die Gruppen der jeweils 5 besten Schüler weisen drei gemeinsame Namen auf. Während die 5 besten Schüler bei den a-Aufgaben nahezu die gleiche Anzahl von Hilfen benötigten, fällt auf, daß Barus bei den k-Aufgaben mit deutlichem Abstand der beste ist.

Die Spannweite der Leistung in den k-Aufgaben ist erheblich größer als in den a-Aufgaben. Wegen der Vielfalt der Repräsentationsformen bei den k-Aufgaben ist dort die Aussagekraft der Diagnosepunkte, an denen die Hilfen gegeben wurden, größer als bei den a-Aufgaben. Wir haben uns deshalb entschlossen, bei den folgenden Analysen die Rangfolge der Schüler nach der Leistung bei den k-Aufgaben zu bilden.

Wir wollen versuchen, durch genauere Auffächerung der Tabellen Hinweise auf mögliche unterschiedliche kognitive Strukturen zu gewinnen. Wir haben deshalb zunächst in den Tabellen 4.6 bis 4.11 die **Leistungen** der Schüler bezogen auf einzelne Aufgaben graphisch dargestellt. Obwohl vom mathematischen Standpunkt aus nur isolierte Punkte definiert sind, haben wir doch die zu den einzelnen Schülern gehörenden Punkte durch Linien verbunden. Wir wollten damit erreichen, daß einmal in einer Tabelle mehrere Aspekte dargestellt werden können, und zum anderen sollte sich die Möglichkeit ergeben, bei der Analyse einzelner Schüler unter besonderen Gesichtspunkten aus der Gestalt von Kurven neue Einsichten zu gewinnen.

Ein Blick in die Tabelle 4.6 zeigt, daß die Kurve für die k-Aufgaben wesentlich gleichmäßiger verläuft als die Kurve für die a-Aufgaben. Da wir die Anordnung der Schüler nach ihrem Rang bei den k-Aufgaben vorgenommen haben, heißt das, daß zur Bewältigung der k-Aufgaben offensichtlich teilweise andere Leistungen notwendig sind als zum Bewältigen der a-Aufgaben. Aber auch bei den a-Aufgaben haben einige Schüler bemerkenswerte Abweichungen in einzelnen Teilaspekten, z.B. Sriat und Rudin bei den Fehleraufgaben, Anung am anderen Ende der Skala mit einem bemerkenswerten Unterschied zwischen Funktionsanalyse und Rechenschrittanalyse.

Vergleicht man die beiden Kurven "a-Funktionen" und "a-Fehler" miteinander, so fällt auf,daß diese in der oberen Hälfte (bzgl. k-Rang) der Schüler mehr auseinander liegen als in der unteren Hälfte. In der oberen Hälfte passen auch "a-Funktionen" und "a-Rechenschritte" gut zusammen. Diese beiden Kurven passen dort außerdem zur Gesamtkurve "k-Aufgaben".

Vergleicht man (Tab. 4.6) den Rang bei den k- und a-Aufgaben mit dem beim RAVEN-APM-Test, so fallen einige Schüler auf: bei Sriat entspricht der Rang bei den Aufgaben überhaupt nicht dem vorletzten Rang im RAVEN-Rest; bei Kesi und Meri entspricht der Rang bei den a-Aufgaben deutlich eher dem RAVEN-Test als der Rang bei den k-Aufgaben; dagegen paßt bei Barus der Rang in den k-Aufgaben zum RAVEN-Test. Die Zuordnung "reflektiv"/"impulsiv" im KAGAN-MFF-Test ist offensichtlich unabhängig vom Rang bei den k-Aufgaben, "reflektiv" findet sich häufiger bei den im RAVEN-Test erfolgreicheren Schülern.

Eine Analyse der Tabelle 4.7 zeigt, daß die drei k-Aufgaben "Subtraktion", "Transport", "Kopieren" unterschiedlichen

Schwierigkeitsgrad haben. Die Aufgabe "Subtraktion" ist die erste zur selbständigen Lösung gestellte Aufgabe. Beim Transportprogramm haben über die Hälfte der Schüler keine Hilfe benötigt.

In Tabelle 4.8 sieht man, daß die drei k-Aufgaben zum Bereich "Verdoppeln" nicht für alle Schüler gleichmäßig schwierig waren. Auch hier fällt auf, daß bei zwei Aufgaben (3.1k und 4.2k) etwa die Hälfte keine Hilfe benötigten.

In Tabelle 4.10 sieht man, daß bei den a-Aufgaben die Kurven 4.1.1a und 4.2.1a sowie 4.3a und 4.4.a zusammenpassen. In der oberen Hälfte der Schüler der (k-Aufgaben) Rangskala passen alle drei Aufgabengruppen zusammen. Dort markiert die Kurve 4.5a (Multiplikation; 2 ineinanderliegende Schleifen) auch gut den Gesamttrend bei den a-Rechenschritten.

In Tabelle 4.11 fällt auf, daß bei der Fehlersuche im Netz die Hälfte der Schüler keine Hilfe benötigen.

Tabelle 4.1

Verhalten bei k-Aufgaben: Inanspruchnahme einzelner Hilfen (einschl. der Reihenfolge)

Nr	Name	1.2k S-Form				1.2k Nn-Form			1.2k P-Form				2.1k S-Form			2.1k Nn-Form	2.1k P-Form		
		1	2	4	E4	1	4	E2	1	2	E2	E4	2	E1	E2		2	6	E3
1	Anung			1	2	3			4	5		6							
2	Arus		4						1	2	3	5							
3	Barus																1		
4	Kesi	1							2	3				1					
5	Listi									1									
6	Lusi								1								1		
7	Luti								1	2			1						
8	Mangi			1															
9	Meri						1												
10	Mulia					1	2	3					1		2				
11	Rudin																2	1	3
12	Seno					1		2	3	4									
13	Sriat																		
14	Sulin	1		2	3					4							1		
ΣS		2	1	3	2	3	2	2	6	7	1	2	2	1	1	0	4	1	1
B-Hilfen		4				3			4				3			0	3		

Nr	Name	2.2k S-Form									2.2k Nn-Form										2.2k P-Form									
		9	10	12	E1	E3	E4	E5	E6	E7	9	10	11	12	14	15	E3	E5	E6	E7	7	10	11	12	13	14	E1	E2	E3	E7
1	Anung			5																		3				6	1	4	2	
2	Arus					2	1	3																						
3	Barus																1													
4	Kesi	2	3			1																								
5	Listi															1		2												
6	Lusi																					2	4				1		2	
7	Luti		3	5		2	1		4																6					
8	Mangi											1		3		4	2													
9	Meri										1	3		5		7	2	6	4					9	8					
10	Mulia			3	1			4		2																				5
11	Rudin	1	2																		4				3	5				
12	Seno	1	2	3																	4					5				
13	Sriat	1	3			2									5	6		4												
14	Sulin		3			1,2							5		4					6										
ΣS		4	6	4	1	6	2	2	1	1	1	2	1	2	2	4	3	3	1	1	2	2	1	1	3	3	2	1	2	1
B-Hilfen		9									10										10									

Nr	Name	3.1k S-Form	3.1k Nn-Form	3.1k P-Form				4.1k S-Form							4.1k Nn-Form						4.1k P-Form
		3	E1	3	6	7	E2	3	6	7	9	10	E2	E3	7	9	12	E1	E4	E5	6
1	Anung																				
2	Arus								2												1
3	Barus			1																	
4	Kesi					1				1	2										
5	Listi									1											
6	Lusi				1																
7	Luti	1																			
8	Mangi														1	2		3			
9	Meri		1			2	3									2	5	4	1	3	
10	Mulia									1			2								3
11	Rudin										2		1								
12	Seno							1		2	3	5	4								
13	Sriat									1	2										
14	Sulin									1	2			3							4
ΣS		1	1	1	1	2	1	1	1	6	5	1	3	1	1	2	1	2	1	1	3
B-Hilfen		1	1	4				7							6						1

Nr	Name	4.2k S-Form								4.2k Nn-Form				4.2k P-Form	S	Nn	P
		23	24	26	27	28	30	E1	E2	23	24	28	30	30			
1	Anung	1	2												5	1	8
2	Arus														5		5
3	Barus															1	2
4	Kesi		2				1								9		3
5	Listi		4	5	1		2	3							6	2	1
6	Lusi																7
7	Luti		2				1								9		3
8	Mangi									1	2	3			1	10	0
9	Meri													1	0	15	4
10	Mulia														8	3	2
11	Rudin														4	0	6
12	Seno														8	2	
13	Sriat													1	5	3	
14	Sulin	3		2		5	1		4						14	3	
ΣS		2	4	2	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1 1	74	40	49
B-Hilfen		8								4				1	79		

ΣS: Anzahl der Schüler, die angegebene Hilfe benötigten

Tabelle 4.2

Verhalten bei a-Aufgaben: Inanspruchnahme einzelner Hilfen (einschl. der Reihenfolge)

Nr	Name	2.3a (18 E1 E2)	2.4a (21 22 E0 E1 E2 E3 23 24 E4 25 26 E5 E6)	3.2a (9 E1 10 E2 E3 E4 13 14 E5 15 E6 E7 16 E8 17)	3.3F (18 19 20 22 23 25 E1 E2 E3 E4 E5 E6 E7 E8)	4.1.1a (E1 E2 E3 15 16 E4)	4.2.1a (E1 38 39 E2)
1	Anung	1 2	2 1 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 4 3 2 5		1 2
2	Arus	1 2	1 2	1 2 5 4 3			
3	Barus		1 2 3	1 2 3			1 2
4	Kesi		1 3 2 4		1		1 2
5	Listi	1 2	1 2 3 4		1 2		
6	Lusi	1 2	1 2 3	1 2 3 4 5 6	2 3 1	1	1
7	Luti	1	1 4 2 3 5 6		2 3 4 1 5	1	1 2
8	Mangi		1 2 3 4	1 4 2 3 5			
9	Meri	1	1	1 2	1 2 3 4		1 2
10	Mulia	1	1	1			1 2
11	Rudin	1 2	1 2 3 4	1 2		1	
12	Seno	1	1 2 3 4	1 2 3	2 1	1 2	
13	Sriat	1	1 2 3	1 2 3			
14	Sulin	1	1 2	1 2 3		1 2 3	1 2 3
Σ S		7 7 2	3 5 6 5 7 3 1 8 2 1 2 2 2	3 5 2 1 1 1 3 2 4 6 1 4 4 1 1	2 3 1 1 1 1 1 3 2 1 1 2 1 2	2 1 1 2 1 1	1 8 5 2
B-Hilfe		3	13	15	14	6	4

Nr	Name	4.3a (40 41 42 43)	4.4a (44 46 47 48 E1)	4.5a (50 51 52 E1 E2 E3 53 54 55 E4 56 57 E5 58 E6 E7)	4.6a (61 62 63 64 65 66 E1 E2 E3 E4)	Fkt.	RS	Fehler	Aufg.
1	Anung		2 1	1 2 3 4 5	1 2	14	9	7	30
2	Arus		1	4 3 2 1 5 6	1 3 2 4	9	7	4	20
3	Barus		1 2	1 2 3 4	1 2	6	8	2	16
4	Kesi		1 3 2	1 2	2 1	4	7	3	14
5	Listi		1 2	1 3 2 4		6	6	2	14
6	Lusi	1 2	1	1 2 4 3 5 6	1 2 3	11	11	6	28
7	Luti	1 2	2 1	1 3 4 2 5 6	2 3 1	7	13	8	28
8	Mangi	1		1 2 3 4 5	1 2 3	9	6	3	18
9	Meri		2 1	1 3 4 5 6 2	1 2	4	10	6	20
10	Mulia	1		1 2 3 5 6 4 7	5 1 2 3 4	3	10	5	18
11	Rudin	1		2 1 3 4 5		8	7	0	15
12	Seno	1	1 2	1 2 4 5 6 7 8 3	2 3 4 5 1	8	13	7	28
13	Sriat		2 1	2 3 4 1 5 6		7	8	0	15
14	Sulin	1 2	1 2	1 2 3 4 5	3 2 1	6	15	3	24
Σ S		2 4 2 2	6 2 4 4 5	1 11 13 3 1 3 - 8 1 5 12 7 2 6 1 1	6 6 5 5 1 3 5 1 1 1	102	130	56	288
B-Hilfe		4	5	15	10				89

Σ S: Anzahl der Schüler, die angegebene Hilfe benötigten

Tabelle 4.3

Leistung bei konstruktiven Aufgaben: benötigte Hilfen - absolut sowie durchschnittlich

		Leistung bei k-Aufgaben			1.2 k		2.1 k		2.2 k		3.1 k		4.1 k		4.2 k	
Nr	Name	Rang	H	%	H	%	H	%	H	%	H	%	H	%	H	%
1	Barus	1	3	3.80	0	0	1	16.67	1	3.45	1	16.67	0	0	0	0
2	Lusi	2	7	8.86	1	9.09	1	16.67	4	13.79	1	16.67	0	0	0	0
3	Listi	3.1	9	11.39	1	9.09	0	0	2	6.90	0	0	1	7.14	5	38.46
4	Sriat	3.2	9	11.39	0	0	0	0	6	20.69	0	0	2	14.29	1	7.69
5	Arus	5.1	10	12.66	5	45.45	0	0	3	10.34	0	0	2	14.29	0	0
6	Rudin	5.2	10	12.66	0	0	3	50.00	5	17.24	0	0	2	14.29	0	0
7	Mangi	7	11	13.92	1	9.09	0	0	4	13.79	0	0	3	21.43	3	23.08
8	Kesi	8.1	12	15.19	3	27.27	1	16.67	3	10.34	1	16.67	2	14.29	2	15.38
9	Luti	8.2	12	15.19	2	18.18	1	16.67	6	20.67	1	16.67	0	0	2	15.38
10	Mulia	10	13	16.46	3	27.27	2	33.33	5	17.24	0	0	3	21.43	0	0
11	Seno	11.1	14	17.72	4	36.36	0	0	5	17.24	0	0	5	35.71	0	0
12	Anung	11.2	14	17.72	6	54.55	0	0	6	20.69	0	0	0	0	2	15.38
13	Meri	13	19	24.05	1	9.09	0	0	9	31.03	3	50.00	5	35.71	1	7.69
14	Sulin	14	20	25.32	4	36.36	1	16.67	6	20.69	0	0	4	28.57	5	38.46
	B-Hilfe		79		11		6		29		6		14		13	

B-Hilfe: Anzahl der Menge derjenigen Hilfen aus dem (erweiterten) Untersuchungsdesign, die mindestens ein Schüler in Anspruch genommen hat.

Tabelle 4.4

Leistung bei analytischen Aufgaben: benötigte Hilfen - absolut sowie durchschnittlich nach a-Fkt. / a-RS / a-F.

		Leistung bei a-Aufgaben			a-Funktionen			a-Rechenschritte			a-Fehler		
Nr	Name	Rang	H	%	H	%	Rang	H	%	Rang	H	%	Rang
1	Kesi	1.1	14	15.73	4	12.90	2.1	7	20.59	3.1	3	12.50	5.3
2	Listi	1.2	14	15.73	6	19.35	4.2	6	17.65	1.2	2	8.33	3.1
3	Sriat	3.1	15	16.85	7	22.58	7.2	8	23.53	6.2	0	0	1.1
4	Rudin	3.2	15	16.85	8	25.81	9.1	7	20.59	3.3	0	0	1.2
5	Barus	5	16	17.98	6	19.35	4.1	8	23.53	6.1	2	8.33	3.2
6	Mangi	6.1	18	20.22	9	29.03	11.1	6	17.65	1.1	3	12.50	5.2
7	Mulia	6.2	18	20.22	3	9.68	1	10	29.41	9.2	5	20.83	9
8	Meri	8.1	20	22.47	4	12.90	2.2	10	29.41	9.1	6	25.00	10.2
9	Arus	8.2	20	22.47	9	29.03	11.2	7	20.59	3.2	4	16.67	8
10	Sulin	10	24	26.97	6	19.35	4.3	15	44.12	14	3	12.50	5.1
11	Luti	11.1	28	31.46	7	22.58	7.1	13	38.24	12.2	8	33.33	14
12	Seno	11.2	28	31.46	8	25.81	9.2	13	38.24	12.1	7	29.17	12.1
13	Luti	11.3	28	31.46	11	35.48	13	11	32.35	11	6	25.00	10.1
14	Anung	14	30	33.71	14	45.16	14	9	26.47	8	7	29.17	12.2
	B-Hilfe		89		31			34			24		

B-Hilfe: Anzahl der Menge derjenigen Hilfen aus dem (erweiterten) Untersuchungsdesign, die mindestens ein Schüler in Anspruch genommen hat.

Tabelle 4.5

Leistung bei analytischen Aufgaben: benötigte Hilfen - absolut sowie durchschnittlich

		2.3 a		2.4 a		3.2 a		a-Pkt		4.1.1 a		4.2.1 a		4.3 a		4.4 a		4.5 a		a-RS		3.3 F		4.6 F		a-Fehler		a-Aufgaben	
Nr	Name	H	%	H	%	H	%	H	%	H	%	H	%	H	%	H	%	H	%	H	%	H	%	H	%	H	%	H	%
1	Anung	2	66.67	6	46.15	6	40.00	14	45.16	0	0	2	50.00	0	0	2	40.00	5	33.33	9	26.47	5	35.71	2	20.00	7	29.17	30	33.71
2	Arus	2	66.67	2	15.38	5	33.33	9	29.03	0	0	0	0	0	0	1	20.00	6	40.00	7	20.59	0	0	4	40.00	4	16.67	20	22.25
3	Barus	0	0	3	23.08	3	20.00	6	19.35	0	0	2	50.00	0	0	2	40.00	4	26.67	8	23.53	0	0	2	20.00^{n}	2	8.33	16	17.98
4	Kesi	0	0	4	30.77	0	0	4	12.90	0	0	2	50.00	0	0	3	60.00	2	13.33	7	20.59	1	7.14	2	20.00	3	12.50	14	15.73
5	Listi	2	66.67	4	30.77	0	0	6	19.35	0	0	0	0	0	0	2	40.00	4	26.67	6	17.65	2	14.29^{P}	0	0	2	8.33	14	15.73
6	Lusi	2	66.67	3	23.08	6	40.00	11	35.48	1	16.67	1	25.00	2	50.00	1	20.00	6	40.00	11	32.35	3	21.43	3	30.00	6	25.00	28	31.46
7	Luti	1	33.33	6	46.15	0	0^{S}	7	22.58	1	16.67	2	50.00	2	50.00	2	40.00	6	40.00	13	38.24	5	35.71	3	30.00^{S}	8	33.33	28	31.46
8	Mangi	0	0	4	30.77	5	33.33	9	29.03	0	0	0	0	1	25.00	0	0	5	33.33	6	17.65	0	0	3	30.00	3	12.50	18	20.22
9	Meri	1	33.33	1	7.69	2	13.33	4	12.90	0	0	2	50.00	0	0	2	40.00	6	40.00	10	29.41	4	28.57	2	20.00	6	25.00	20	22.25
10	Mulia	1	33.33	1	7.69	1	6.67	3	9.68	0	0	2	50.00	1	25.00	0	0	7	46.67	10	29.41	0	0	5	50.00^{S}	5	20.83	18	20.22
11	Rudin	2	66.67	4	30.77	2	13.33	8	25.81	1	16.67	0	0	1	25.00	0	0	5	33.33	7	20.59	0	0	0	0	0	0	15	16.85
12	Seno	1	33.33^{N}	4	30.77	3	20.00	8	25.81	2	33.33	0	0	1	25.00	2	40.00	8	53.33	13	38.24	2	14.29	5	50.00^{N}	7	29.17	28	31.46
13	Sriat	1	33.33	3	23.08	3	20.00	7	22.58	0	0	0	0	0	0	2	40.00	6	40.00	8	23.53	0	0	0	0^{S*}	0	0	15	16.85
14	Sulin	1	33.33	2	15.38	3	20.00	6	19.35	3	50.00	3	75.00	2	50.00	2	40.00	5	33.33	15	44.12	0	0	3	30.00^{S}	3	12.50	24	26.97
B-Hilfe		3		13		15		31		6		4		4		5		15		34		14		10	.	24		89	
Ø		3		0		3		0		9		6		7		3		0		0		7		3		2		0	
Σ H		16		47		39		102		8		16		10		21		75		130		22		34		56		288	
Σ H/Σ S		1.14		3.36		2.79		7.29		0.57		1.14		0.71		1.50		5.36		9.29		1.57		2.29		4.00		20.57	

Σ S Anzahl der Schüler, die angegebene Repräsentationsform benutzen

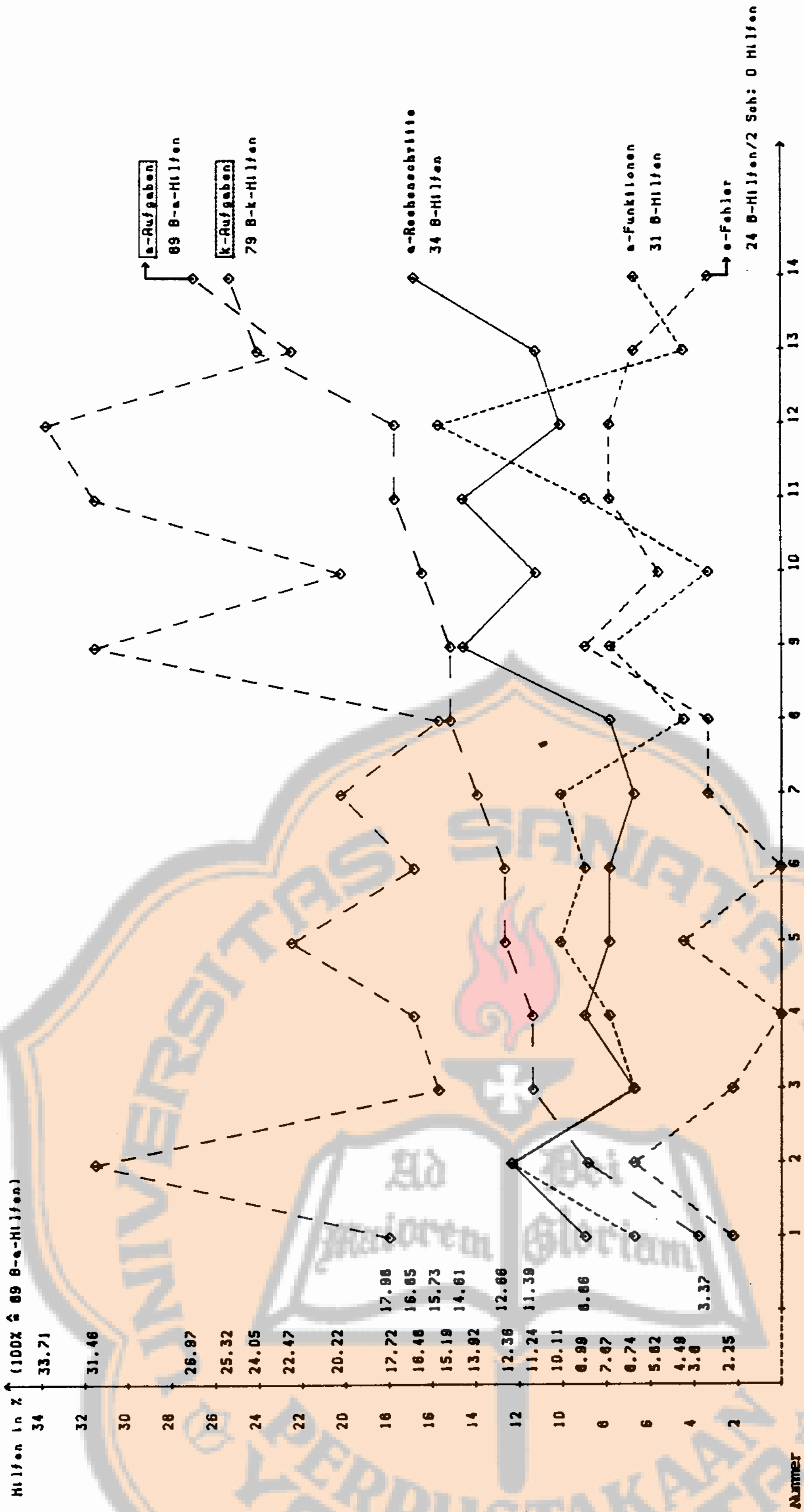
Ø Anzahl der Schüler, die keine Hilfe benötigten

Σ H insgesamt von den Schülern benötigte Hilfen

Σ H / Σ S durchschnittlich benötigte Hilfen

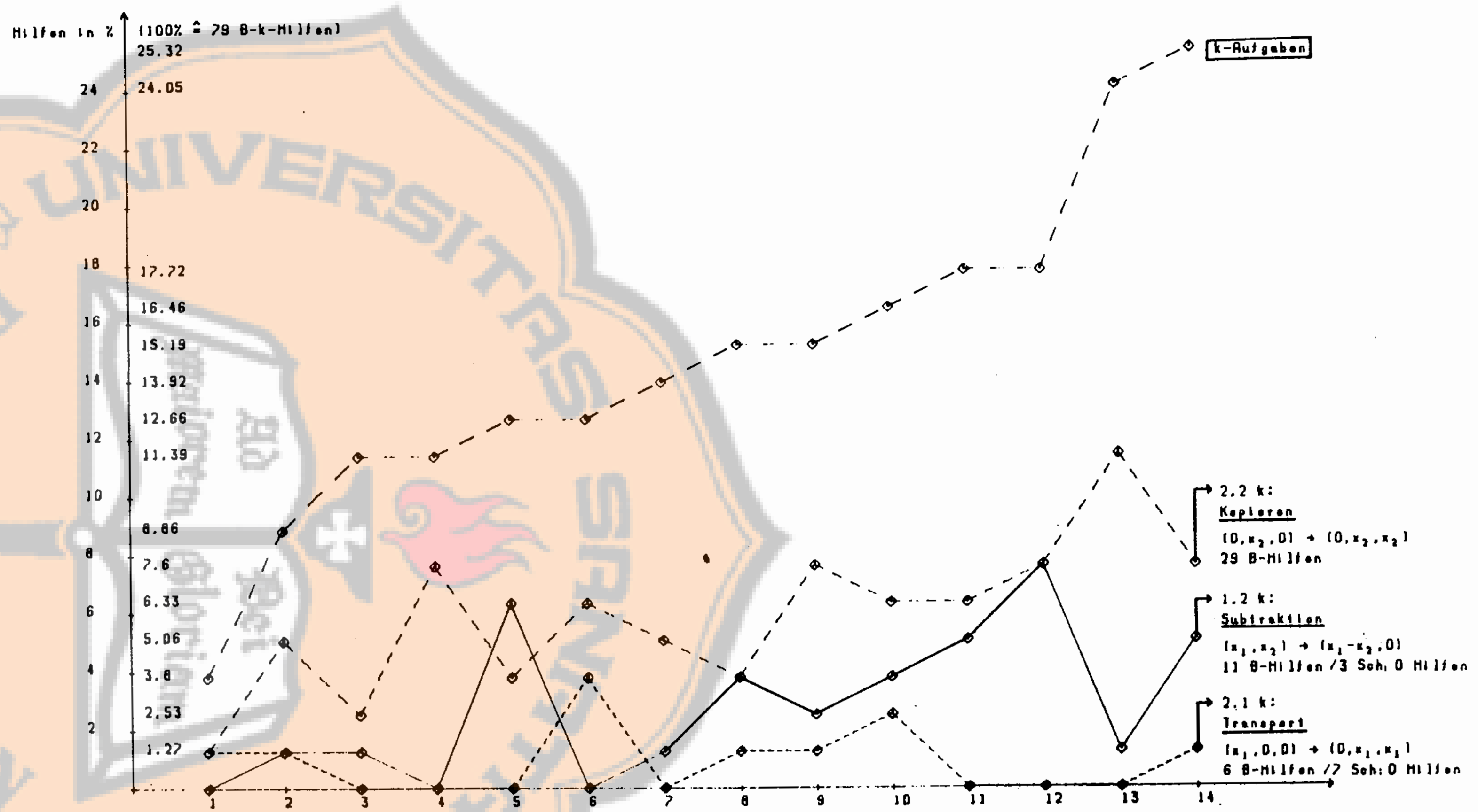
B-Hilfe: Anzahl der Menge derjenigen Hilfen aus dem erweiterten Untersuchungsdesign, die mindestens ein Schüler in Anspruch genommen hat.

Abbildung 4.6



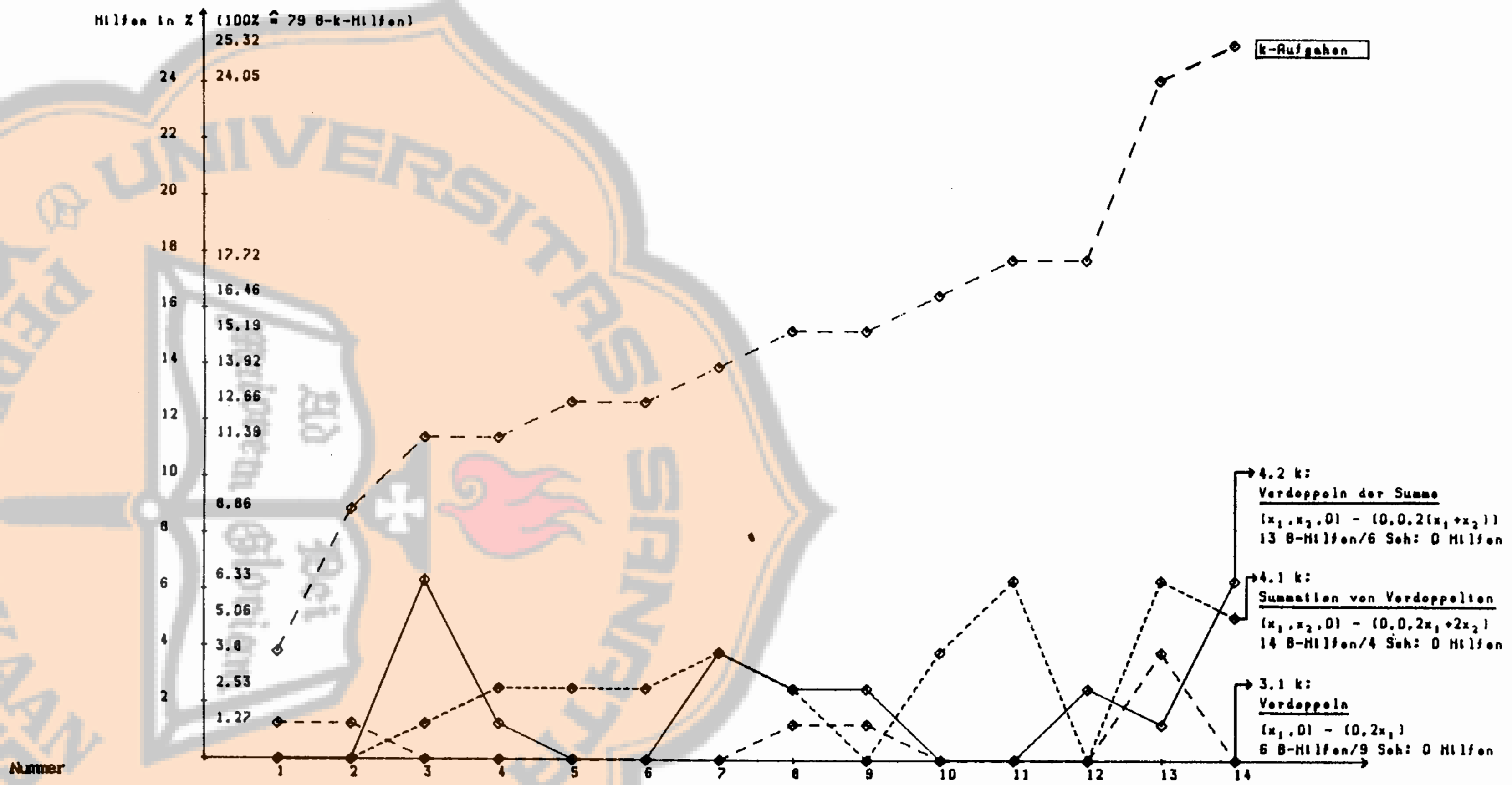
Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Name	Barus	Lusi	Listi	Sriat	Arus	Rudin	Mangi	Kesi	Luti	Mulia	Seno	Anung	Meri	Sulin
k-Aufgaben [Rang]	1	2	3.1	3.2	5.1	5.2	7	8.1	8.2	10	11.1	11.2	13	14
a-Aufgaben [Rang]	5	11.3	1.2	3.1	8.2	3.2	6.1	1.1	11.1	6.2	11.2	14	8.1	10
a-Funktionen	4.1	13	4.2	7.2	11.2	9.1	11.1	2.1	7.1	1	9.2	14	2.2	4.3
a-Rechenschritte	6.1	11	1.2	6.2	3.2	3.3	1.1	3.1	12.2	9.2	12.1	8	9.1	14
a-Fehler	3.2	10.1	3.1	1.1	8	1.2	5.2	5.3	14	9	12.1	12.2	10.2	5.1
APM-Test	39	34	31	20	30	32	32	37	20	30	6	21	34	24
MFF-Test	R	I	R	I	I	R	I	R	I	R	I	R	R	I
SNP-Typ: Einstieg	N	P	S	S	P	S	N	S	S	S	S	W(SP)	n	S
SNP-Typ: insgesamt	NP	P	SP	SNP	W(SP)	SP	W(SNnP)	SP	SP	SP	SP	W(SNP)	nP	W(SNP/SP)

Abbildung 4.7



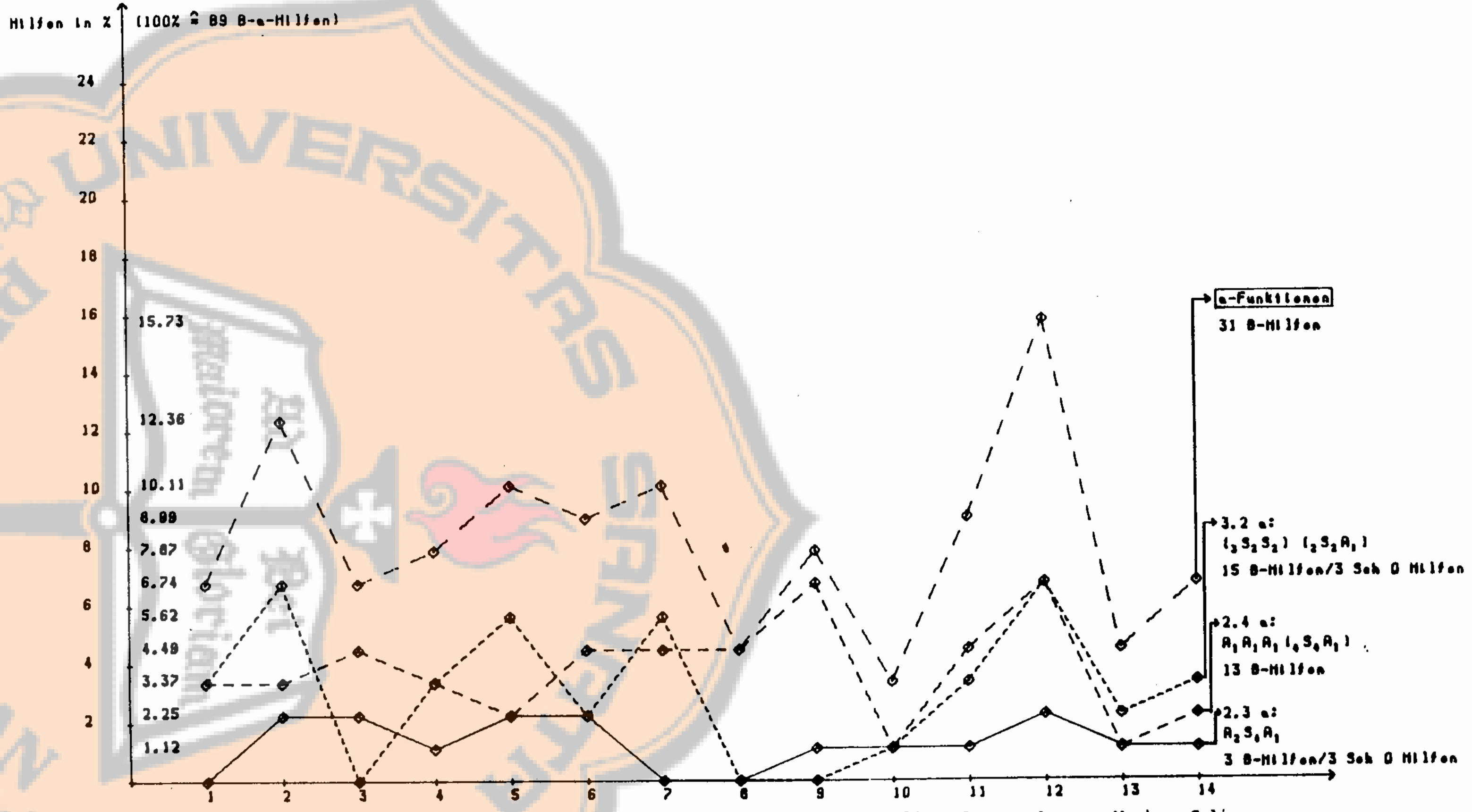
Nummer / Name	Barus	Lusi	Listi	Sriat	Arus	Rudin	Mangi	Kesi	Luti	Mulia	Seno	Anung	Meri	Sulin
k-Aufgaben [Rang]	1	2	3.1	3.2	5.1	5.2	7	8.1	8.2	10	11.1	11.2	13	14
a-Aufgaben [Rang]	5	11.3	1.2	3.1	8.2	3.2	6.1	1.1	11.1	6.2	11.2	14	8.1	10
a-Funktionen	4.1	13	4.2	7.2	11.2	9.1	11.1	2.1	7.1	1	9.2	14	2.2	4.3
a-Rechenschritte	6.1	11	1.2	6.2	3.2	3.3	1.1	3.1	12.2	9.2	12.1	8	9.1	14
a-Fehler	3.2	10.1	3.1	1.1	8	1.2	5.2	5.3	14	9	12.1	12.2	10.2	5.1
APM-Test	39	34	31	20	30	32	32	37	20	30	6	21	34	24
MFF-Test	R	I	R	I	I	R	I	R	I	R	I	R	R	I
SNP-Typ: Einstieg	N	P	S	S	P	S	N	S	S	S	S	W(SP)	n	S
SNP-Typ: insgesamt	NP	P	SP	SNP	W(SP)	SP	W(SNnP)	SP	SP	SP	SP	W(SNP)	nP	W(SNP/SP)

Abbildung 4.8



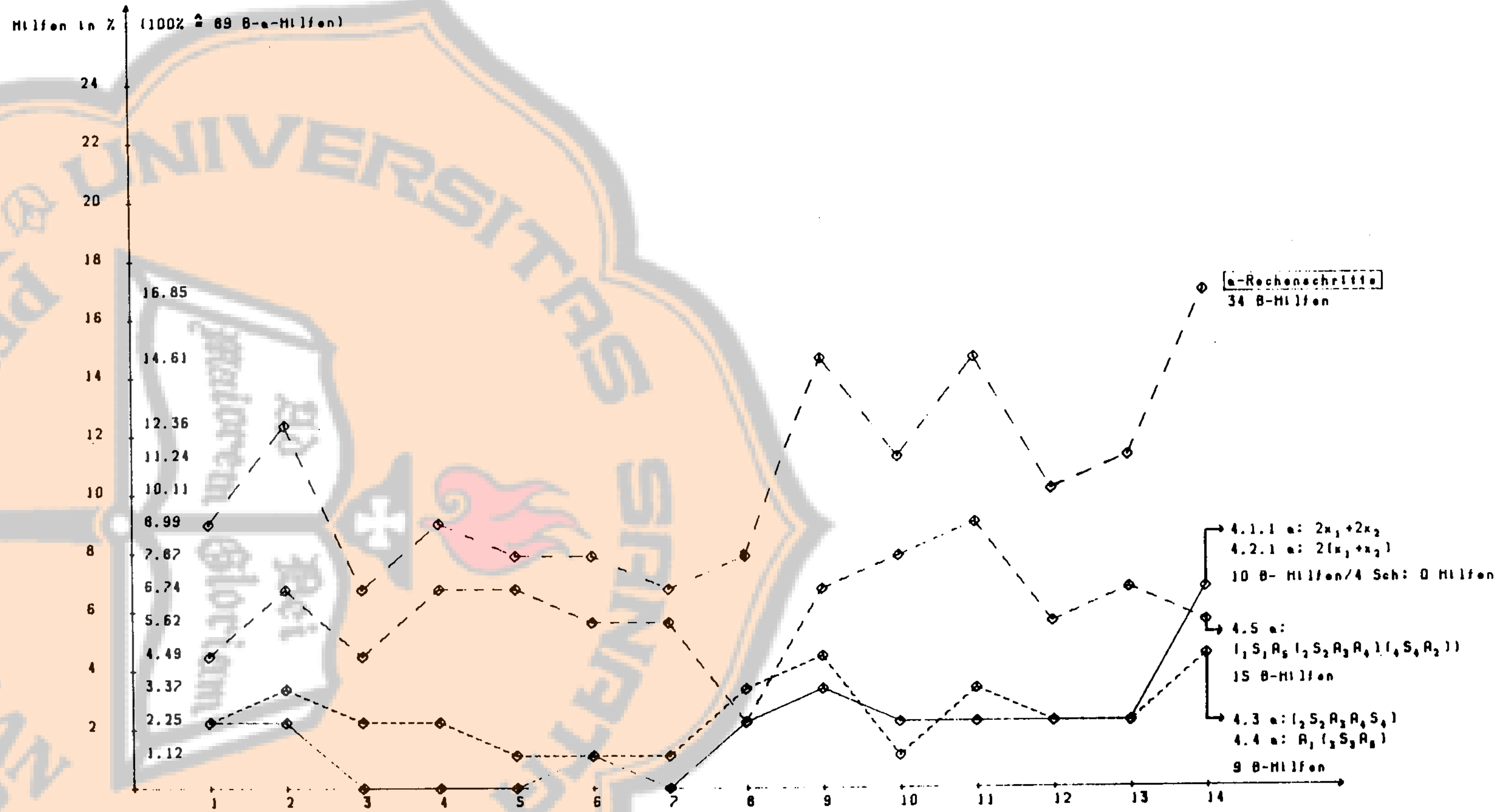
Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Name	Barus	Lusi	Listi	Sriat	Arus	Rudin	Mangi	Kesi	Luti	Mulia	Seno	Anung	Meri	Sulin
k-Aufgaben [Rang]	1	2	3.1	3.2	5.1	5.2	7	8.1	8.2	10	11.1	11.2	13	14
a-Aufgaben [Rang]	5	11.3	1.2	3.1	8.2	3.2	6.1	1.1	11.1	6.2	11.2	14	8.1	10
a-Punktionen	4.1	13	4.2	7.2	11.2	9.1	11.1	2.1	7.1	1	9.2	14	2.2	4.3
a-Rechenschritte	6.1	11	1.2	6.2	3.2	3.3	1.1	3.1	12.2	9.2	12.1	8	9.1	14
a-Fehler	3.2	10.1	3.1	1.1	8	1.2	5.2	5.3	14	9	12.1	12.2	10.2	5.1
APM-Test	39	34	31	20	30	32	32	37	20	30	6	21	34	24
MFF-Test	R	I	R	I	I	R	I	R	I	R	I	R	R	I
SNP-Typ: Einstieg	N	P	S	S	P	S	N	S	S	S	S	W(SP)	n	S
SNP-Typ: insgesamt	NP	P	SP	SNP	W(SP)	SP	W(SNnP)	SP	SP	SP	SP	W(SNP)	nP	W(SNP/SP)

Abbildung 4.9



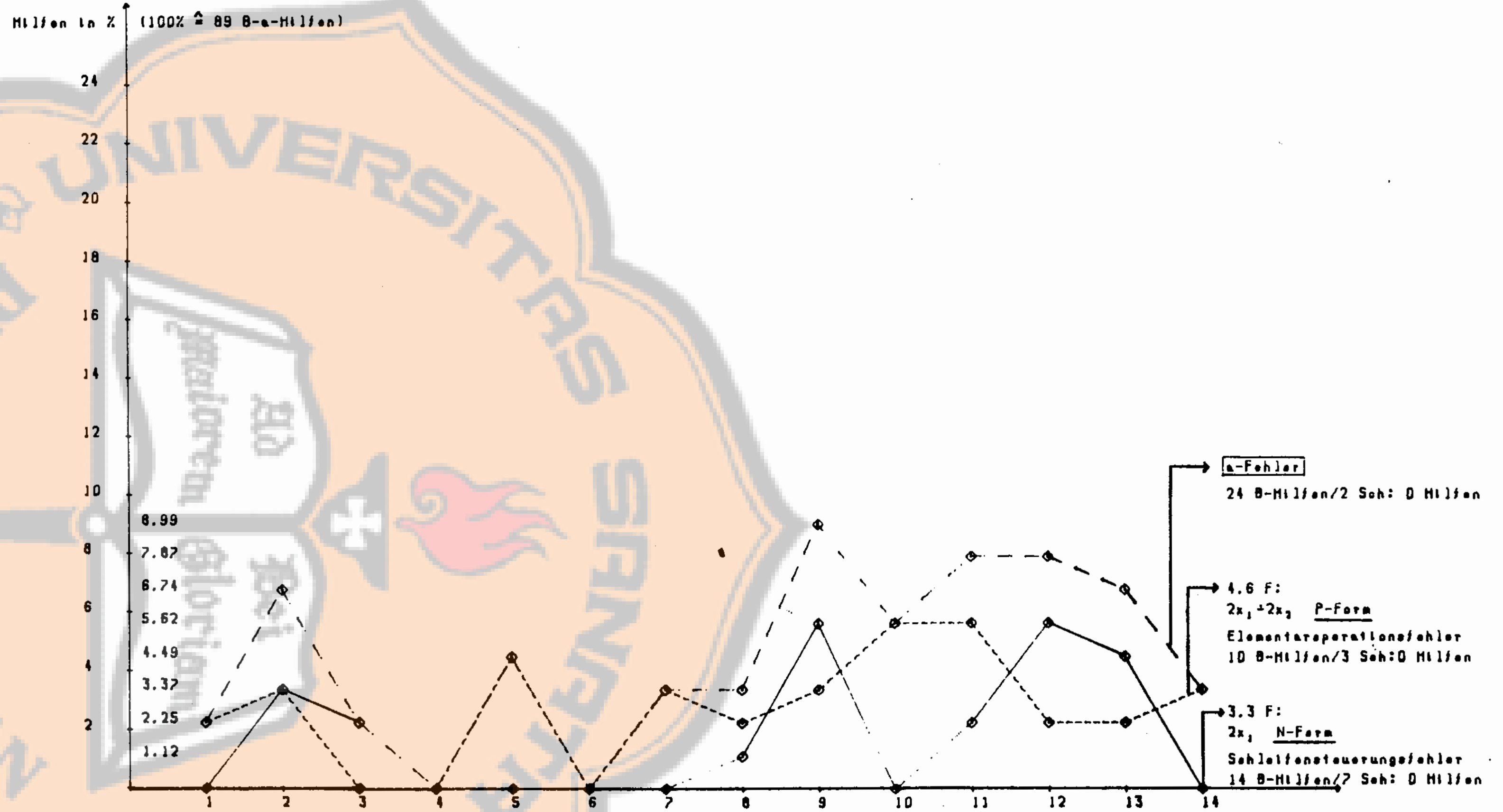
Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Name	Barus	Lusi	Listi	Sriat	Arus	Rudin	Mangi	Kesi	Luti	Mulia	Seno	Anung	Meri	Sulin
k-Aufgaben [Rang]	1	2	3.1	3.2	5.1	5.2	7	8.1	8.2	10	11.1	11.2	13	14
a-Aufgaben [Rang]	5	11.3	1.2	3.1	8.2	3.2	6.1	1.1	11.1	6.2	11.2	14	8.1	10
a-Funktionen	4.1	13	4.2	7.2	11.2	9.1	11.1	2.1	7.1	1	9.2	14	2.2	4.3
a-Rechenschritte	6.1	11	1.2	6.2	3.2	3.3	1.1	3.1	12.2	9.2	12.1	8	9.1	14
a-Fehler	3.2	10.1	3.1	1.1	8	1.2	5.2	5.3	14	9	12.1	12.2	10.2	5.1
APM-Test	39	34	31	20	30	32	32	37	20	30	6	21	34	24
MFF-Test	R	I	R	I	I	R	I	R	I	R	I	R	R	I
SNP-Typ: Einstieg	N	P	S	S	P	S	N	S	S	S	S	W(SP)	n	S
SNP-Typ: insgesamt	NP	P	SP	SNP	W(SP)	SP	W(SNnP)	SP	SP	SP	SP	W(SNP)	nP	W(SNP/SP)

Abbildung 4.10



Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Name	Barus	Lusi	Listi	Sriat	Arus	Rudin	Mangi	Kesi	Luti	Mulia	Seno	Anung	Meri	Sulin
k-Aufgaben [Rang]	1	2	3.1	3.2	5.1	5.2	7	8.1	8.2	10	11.1	11.2	13	14
a-Aufgaben [Rang]	5	11.3	1.2	3.1	8.2	3.2	6.1	1.1	11.1	6.2	11.2	14	8.1	10
a-Funktionen	4.1	13	4.2	7.2	11.2	9.1	11.1	2.1	7.1	1	9.2	14	2.2	4.3
a-Rechenschritte	6.1	11	1.2	6.2	3.2	3.3	1.1	3.1	12.2	9.2	12.1	8	9.1	14
a-Fehler	3.2	10.1	3.1	1.1	8	1.2	5.2	5.3	14	9	12.1	12.2	10.2	5.1
APM-Test	39	34	31	20	30	32	32	37	20	30	6	21	34	24
MFF-Test	R	I	R	I	I	R	I	R	I	R	I	R	R	I
SNP-Typ: Einstieg	N	P	S	S	P	S	N	S	S	S	S	W(SP)	n	S
SNP-Typ: insgesamt	NP	P	SP	SNP	W(SP)	SP	W(SNnP)	SP	SP	SP	SP	W(SNP)	nP	W(SNP/SP)

Abbildung 4.11



Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Name	Barus	Lusi	Listi	Sriat	Arus	Rudin	Mangi	Kesi	Luti	Mulia	Seno	Anung	Meri	Sulin
k-Aufgaben [Rang]	1	2	3.1	3.2	5.1	5.2	7	8.1	8.2	10	11.1	11.2	13	14
a-Aufgaben [Rang]	5	11.3	1.2	3.1	8.2	3.2	6.1	1.1	11.1	6.2	11.2	14	8.1	10
a-Funktionen	4.1	13	4.2	7.2	11.2	9.1	11.1	2.1	7.1	1	9.2	14	2.2	4.3
a-Rechenschritte	6.1	11	1.2	6.2	3.2	3.3	1.1	3.1	12.2	9.2	12.1	8	9.1	14
a-Fehler	3.2	10.1	3.1	1.1	8	1.2	5.2	5.3	14	9	12.1	12.2	10.2	5.1
APM-Test	39	34	31	20	30	32	32	37	20	30	6	21	34	24
MFF-Test	R	I	R	I	I	R	I	R	I	R	I	R	R	I
SNP-Typ: Einstieg	N	P	S	S	P	S	N	S	S	S	S	W(SP)	n	S
SNP-Typ: insgesamt	NP	P	SP	SNP	W(SP)	SP	W(SNnP)	SP	SP	SP	SP	W(SNP)	nP	W(SNP/SP)

5. Fallstudien von Schülern beim Umgang mit Algorithmen in N-Form

Im folgenden werden wir anhand ausgewählter Fallstudien zeigen, wie sich Schüler unterschiedlich bei der Auseinandersetzung mit Algorithmen verhalten. Wir werden unser Augenmerk auf zwei verschiedene Kategorien richten: einmal auf die Frage, aus welchen **Grundbausteinen** die algorithmischen Gedanken der Schüler zusammengesetzt sind: "prädikativ" oder "funktional", zum zweiten auf die Frage, welche verschiedenen **Denkstrategien** die Schüler beim Problemlösen benutzen: "begrifflich" oder "sequentiell".

Die umfangreiche Analyse der Videobänder hat ergeben, daß sich die konstruktiven Aufgaben, wenn sie in der Netzform bearbeitet werden, in besonderem Maße eignen, diese Aspekte unterschiedlicher Denkstile und Denkstrategien sichtbar zu machen. In der Netzform ist der Prozeß der Problemlösung deutlich zu verfolgen, ohne daß man in besonderer Weise auf verbale Äußerungen der Schüler angewiesen ist (SCHWANK 1979). Beim Betrachten der Videobänder ist es einfacher, sich auf eine Interpretation von Handlungen zu verständigen als auf eine Interpretation von hingeschriebenen Formeln, die am Ende eines Problemlöseprozesses stehen können. Dieses spricht für eine Präferenz für die k-Aufgaben im Vergleich zu den a-Aufgaben. Der Vorteil der N-Form gegenüber dem Arbeiten an der Registerkiste liegt darin, daß bei der N-Form der entstehende Algorithmus dokumentiert ist, beim Arbeiten an der Registerkiste aber immer nur die Veränderung der Speicherplätze sichtbar ist.

Für die Beschreibung derjenigen Phänomene, die wir erklären wollen, gibt es nicht einen schon vorhandenen Sprachgebrauch mit einem ausgebauten Begriffsnetz. Wir reden trotzdem über das Verhalten der Schüler und meinen, bei den verschiedenen Schülern auch Unterschiedliches zu sehen. Um diese Unterschiede zu erfassen, benutzen wir zwei Begriffspaare "prädikativ"/"funktional" und "begrifflich"/"sequentiell". Dabei wird die Bedeutung dieser Begriffe teilweise auch durch ihre Verwendung zur Beschreibung der beobachteten Phänomene geprägt.

Für die Klassifikation von Denkstilen und Denkstrategien eignen sich folgende Phasen im Problemlöseprozeß in besonderer Weise:

Zunächst ist es interessant festzustellen, wie die Schüler die Zähler einplanen. Ein Weg besteht darin, daß man die Zählbausteine wie Speicher in der Registerkiste behandelt: Man richtet sein Augenmerk auf die Beziehungen der Zählerinhalte.
Der zweite Weg besteht darin, daß man sich beim Problemlösen in die Position des Stäbchens versetzt, welches auf der Bahn des gerade zu entwickelnden Algorithmus entlang fährt. Bei dieser Sicht steuert man in einer gewissen Reihenfolge die Zähler an. Bei dem ersten Ansatz sind quasi die Zähler übergroß, die Bahnen klein; bei dem zweiten Ansatz sieht man in gewisser Weise durch das Fenster des fahrenden Autos; die Zähler sind Bausteine wie die anderen, die ebenso auf dem Weg liegen.

Beim Bau des Netzes sind in diesem Zusammenhang folgende Stellen interessant: einmal der Beginn der Problemlösung, zum anderen die Stelle, an der man ein Teilproblem gelöst hat und zum nächsten übergeht. Da das Kopierprogramm aus zwei Teilen besteht, eignet es sich in besonderer Weise für unsere Analyse.

Die zweite wichtige Beobachtung kann man an die Frage knüpfen, an welchen Stellen ein Schüler sein Bauen unterbricht, wenn er einige Bausteine zusammenhängend gesteckt hat. Bei der Komplexität des Kopierproblems gibt es mehrmals Gelegenheit zu interessanten Beobachtungen.

Eine dritte wichtige Quelle der Erkenntnis ist die Problemsituation, in der der Schüler nicht weiterweiß oder einen von ihm bzw. dem Versuchsleiter erkannten Fehler reparieren muß.

Es ist interessant, die Arbeit der Schüler an den drei eben genannten Stellen zu beobachten, selbst oder gerade wenn sie vorher den Algorithmus mit der Registerkiste erfunden haben. Die Art und Weise, wie die einzelnen Schüler mit den Netzen umgehen, gibt in jedem Fall interessante Hinweise auf die Struktur ihres Denkens und der bei ihnen ablaufenden Denkprozesse.

Zur Auswahl der Schüler:

Die drei von uns im folgenden näher vorgestellten Schüler, Barus, Listi und Sriat, gehören zu den leistungsstarken Schülern. Wir haben uns zu dieser Auswahl entschlossen, weil bei leistungsstarken Schülern eher ein ausgeprägtes Verhalten zu beobachten ist, welches nicht durch das Verhalten des Versuchsleiters allzu sehr bestimmt ist. Bei der Planung der Untersuchung war z.B. das Begriffspaar "prädikativ"/"funktional" nicht bekannt. Die Analyse der Bänder zeigt, daß z.B. Barus eine prädikative Hilfe erhält, die ihm nicht angemessen ist. Er nimmt diese einfach nicht an. Ein schwächerer Schüler dürfte kaum das dazu notwendige Selbstbewußtsein aufbringen, nichtzuletzt, weil er weniger weiß, was für ihn gut ist. Wenn ein Schüler wenig eigene Orientierung hat, kann er eine solche Situation auch wenig einschätzen. Die Analyse der Videobänder hat weiter gezeigt, daß die leistungsstärkeren Schüler mehr in sich zusammenhängend Sinnvolles tun. Bei den schwächeren Schülern gibt es zu viele Störungen.

Ein Blick in die Tabelle mit den von den Schülern gezeigten Leistungen unter dem Aspekt der gewählten Repräsentationsformen (Tabelle 4.1) gibt weitere Hinweise darauf, gerade die drei von uns ausgewählten Schüler für eine genauere Analyse heranzuziehen. Barus hat eine ausgeprägte Vorliebe für Netze, Listi genau das Gegenteil. Beide Schüler sind reflektiv, die Schülerin Sriat ist ausgeprägt impulsiv. Es ist zu vermuten, daß sich dieser Unterschied auch im Problemlöseverhalten dokumentiert. Darüber hinaus stellt man fest, daß Sriat im RAVEN-Test mit 20 Punkten im Vergleich zu ihrer algorithmischen Leistung sehr schlecht abgeschnitten hat.

Die gesammelten Daten über die drei hier vorgestellten Schüler findet man im Anhang unter 3.1.

Im folgenden werden wir die Arbeit der Schüler an der Aufgabe "Kopieren" (2.2k) vorstellen. Die ausführlichen Protokolle ihrer Konstruktionen befinden sich im Anhang. Bei diesen ist versucht worden, das Bauen der Schüler mit einem speziellen Bezeichnungssystem zu kodieren. Zur besseren Übersicht sind im vorliegenden Kapitel die von den Schülern gebauten Netze schrittweise zeichnerisch dargestellt. Die Ziffern in den Netz-Zeichnungen geben an, in welcher Reihenfolge die Schüler am Netz gearbeitet haben. Durchgezogene Linien kennzeichnen Stellen, die vom Schüler gebaut worden sind, gestrichelte Linien kennzeichnen Planungen des Schülers, die dieser durch Fahren mit dem Finger dokumentiert hat. Durchgekreuzte gepunktete Linien kennzeichnen Stellen, die der Schüler wieder abgebaut hat. Die zusätzlichen, bei den Zeichnungen angeführten Kommentare beziehen sich auf die Dokumentation im Anhang. Anfangs- und Endpunkt einer zusammenhängenden Bauphase sind mit Querbalken (für den Anfang) und einem Pfeil (für das Ende) gekennzeichnet. Mit dieser Bezeichnung ist es auch möglich anzudeuten, wenn ein Schüler rückwärts gebaut hat.

Im folgenden stellen wir einige wichtige Stellen vor, die die einzelnen Schüler charakterisieren. Diese sind so gewählt, daß sie das generelle Verhalten der Schüler exemplarisch zeigen.

BARUS

Barus ist der einzige der vorgestellten Schüler, der den Algorithmus in der N-Form entwickelt.

a) Einplanung der Zähler:
   Zu Beginn der Problemlösung steuert Barus die Zähler an (Tabelle 5.1, Zeichnung 1).
   Nachdem Barus einen Irrtum erkannt hat, muß er die Zähler neu einplanen. Auch jetzt steuert er wieder die Zähler an (Tabelle 5.1, Zeichnungen 5 und 6).

b) Zusammenhängende Wegstücke:
   Barus baut die Wegstücke zwischen den Zählern im wesentlichen in einem Stück zusammenhängend (Tabelle 5.1, Zeichnungen 2 und 3). Wir interpretieren dieses Verhalten so, daß Barus die Verwendung der Zähler auf dem Weg strukturiert vornimmt.

c) **Neuorientierung:**
Nachdem Barus mit Hilfe des Versuchsleiters einen Irrtum erkannt hat (Tabelle 5.1, Zeichnung 3), verhält sich Barus in besonderer Weise (Tabelle 5.1, Zeichnung 6 und 5.2., Zeichnung 7): Er hat eine neue Verbindung der Zähler zu regeln; dazu hat er nur wenig Platz zur Verfügung. Er baut abwechselnd an verschiedenen Stellen mit dem Ziel, auf kleinstem Raum eine Problemlösung zu erreichen. Es ist beeindrukkend, wie Barus dieses Problem löst. Auf den ersten Blick mag sein Verhalten zufällig wirken, der Ablauf zeigt aber, daß er keinen gesetzten Stein wegnehmen muß. Man kann sich fragen, wie ihm dieses gelingt. Wir können uns nur vorstellen, daß Barus in seinem Kopf eine Idee hat, wie er das Problem lösen will. Er muß an jeder Stelle wissen, was er mit dem Setzen eines Bausteins für den Gesamtprozeß erreicht. Die Verbindung dieser beiden Erklärungen fassen wir zu dem Begriffspaar "begrifflich-funktional" zusammen. Bei Sriat werden wir später ein anderes Verhalten beobachten.

Listi

Listi hat die Aufgabe an der Registerkiste als einziger ohne Hilfe gelöst.

a) **Einplanung der Zähler:**
Er betrachtet die Zähler einzeln und springt von Veränderung zu Veränderung. Er verbindet nicht zusammenhängend einen Zähler mit dem anderen (Tabelle 5.3, Bild 1). Die rein prädikative Art der Verwendung der Zähler wird ebenfalls sichtbar, als er die zweite Schleife konstruieren muß (Tabelle 5.3, Zeichnung 4.3). Konzeptionell verbindet er beide Zähler mit einer Art "und" im Sinne eines gleichzeitigen Bearbeitens, er hat nicht die Vorstellung, daß er eine Handlungssequenz zu organisieren hat.

b) **Zusammenhängende Wegstücke:**
Er baut die Verbindung zwischen den Zählern nicht gradlinig im Prozeß (vgl. Tabelle 5.3, Zeichnung 1). Zu dieser Art des

Vorgehens paßt auch, daß er in Bahnen schon Kreuzungen einbaut, ohne daß sie zur augenblicklichen Verwendung der Zähler passen (vgl. Tabelle 5.3, Zeichnung 2).

c) **Neuorientierung:**
Listi hat keine Vorstellungen davon, wie er etwas als Handlungsabfolge organisieren muß. Wenn man bedenkt, daß er diesen Algorithmus an der Registerkiste ohne Hilfe erstellt hat, sieht man bei folgender Szene seine funktionale Schwäche deutlich (Tabelle 5.3, Zeichnungen 4 und 5). Nach dem Durchfahren des Netzes war es Listi klar, daß es nicht stimmt. Er baut daraufhin am Additionsausgang des Zählers R_2 die von dort direkt nach R_1 führende Bahn ab, um sie auf einem gewundenen Weg anschließend genauso wieder R_1 zu bauen.

Sriat

In den Punkten a) und b) ist das Verhalten von Sriat mit dem von Listi zu vergleichen. Ein Unterschied ergibt sich nur insofern, als Sriat sehr impulsiv ist und schon einmal Bahnen vorschnell setzt, die sie dann wieder wegnehmen muß. In Tabelle 5.4, Zeichnung 2 sieht man, daß sie die beiden Schleifen isoliert voneinander baut. Wir interpretieren dies so, daß sie die beiden Schleifen miteinander prädikativ verbindet und nicht funktional. Dagegen handhabt sie im Vergleich zu Listi das Bauen von Netzbahnen sequentiell.
Als der Versuchsleiter ihr die Hilfe gibt, die beiden Netzteile miteinander zu verbinden, konstruiert sie irgend einen Anschluß, aber nicht einen solchen, der die gewünschte Netzfunktion erreicht (Tabelle 5.4, Zeichnung 2). Den dadurch entstehenden Fehler kann sie nur mit Hilfe des Versuchsleiters beheben (Tabelle 5.4, Zeichnung 3).

Abbildung 1.1

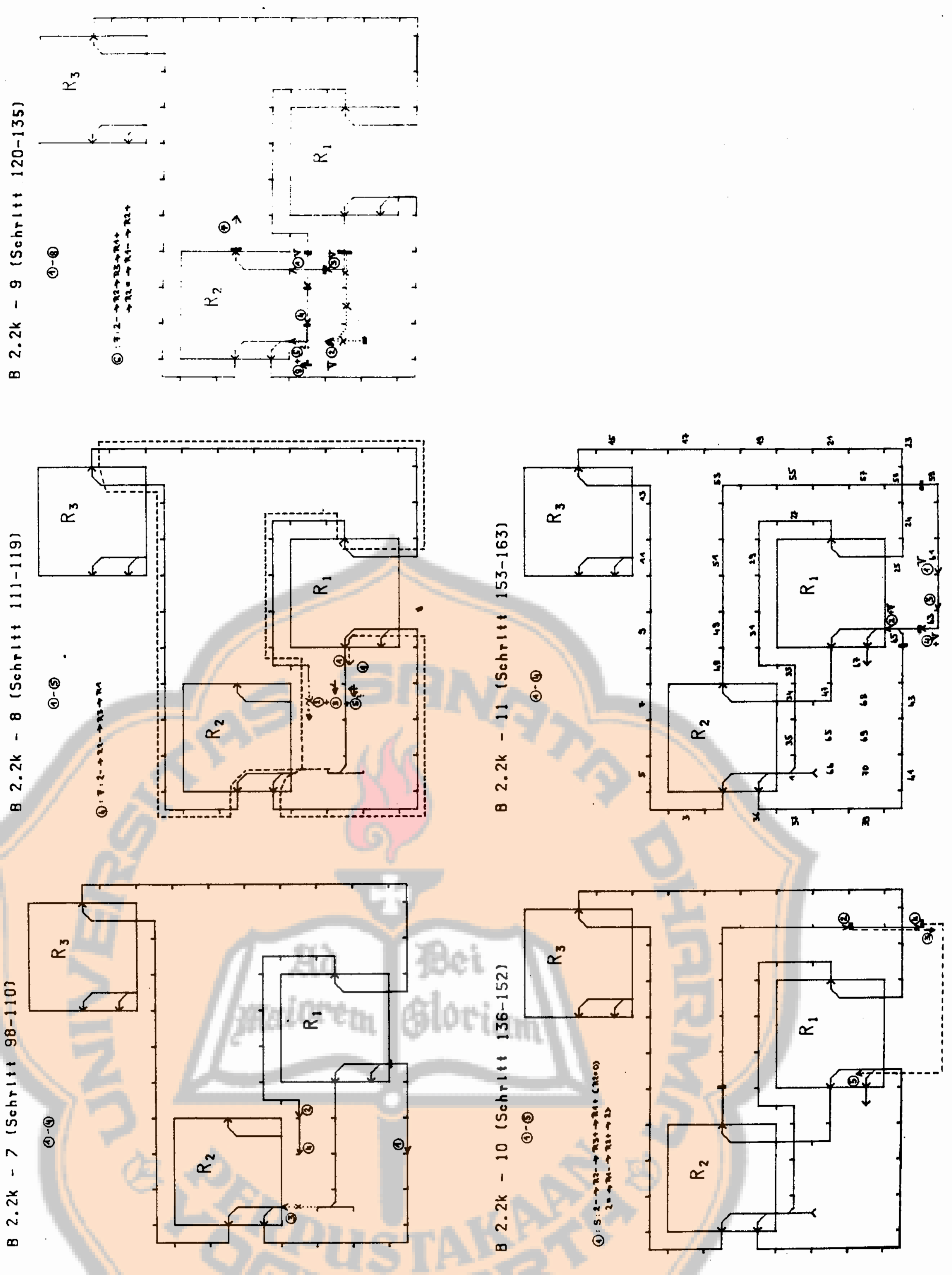


Abbildung 1.2

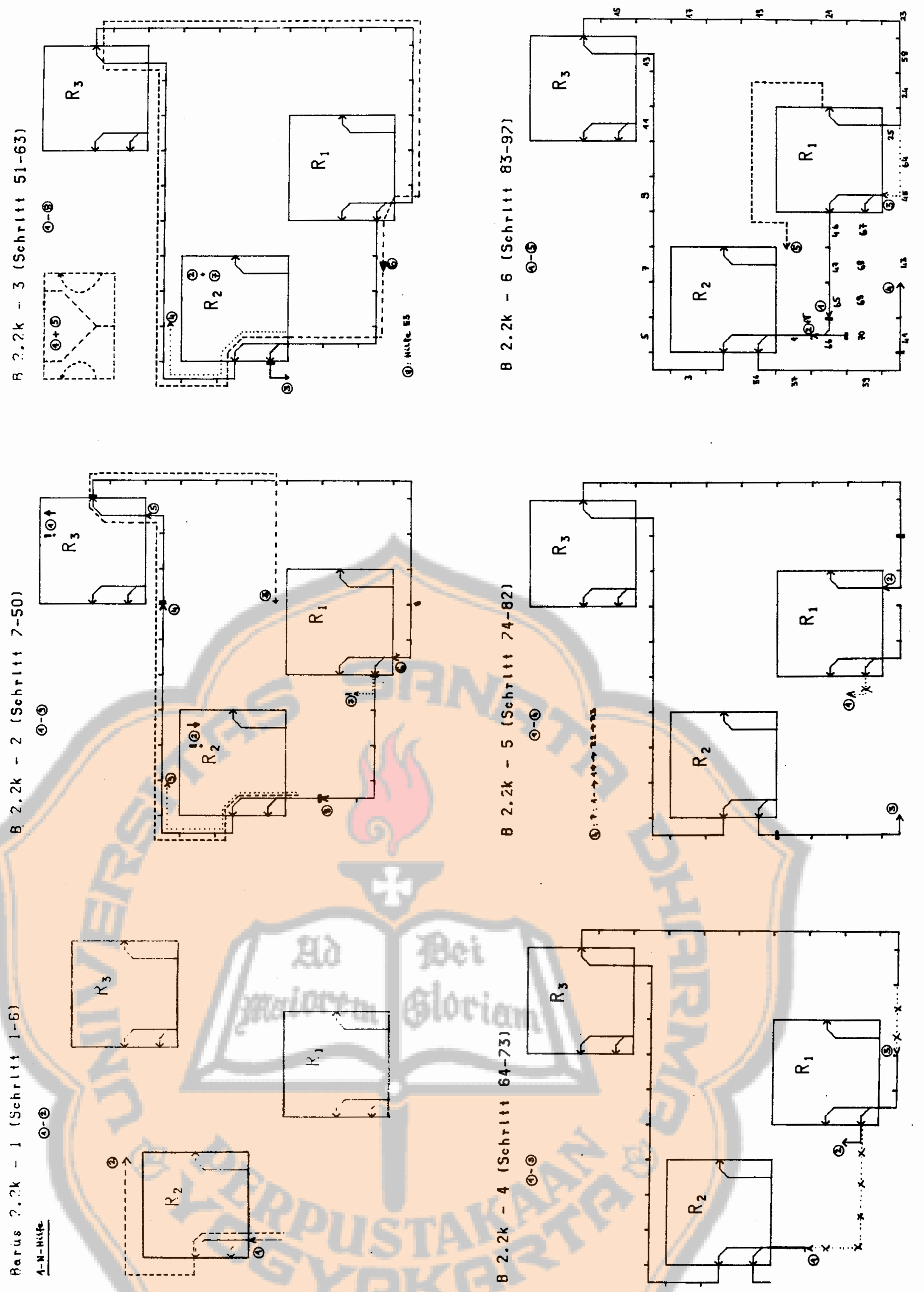


Abbildung 3

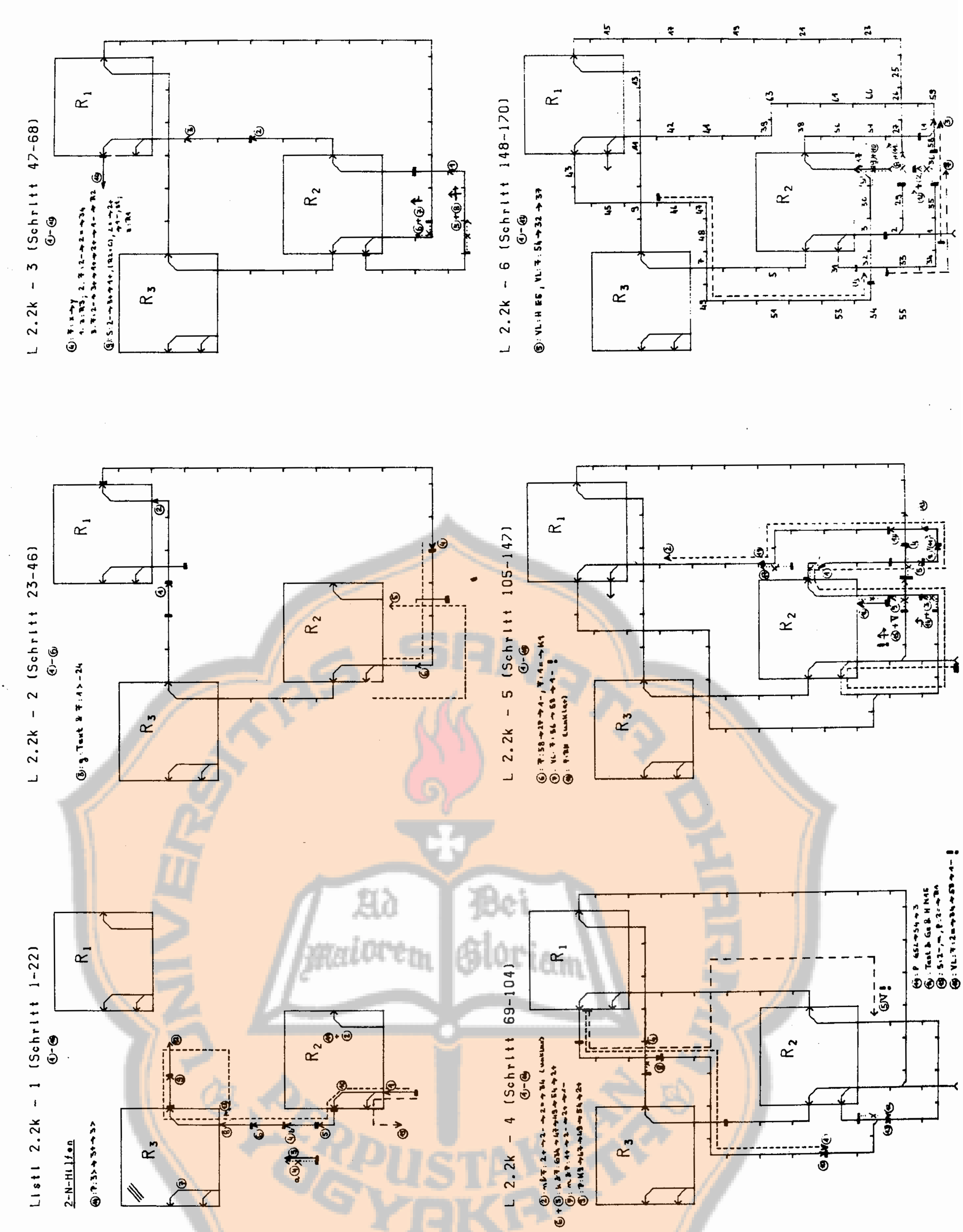
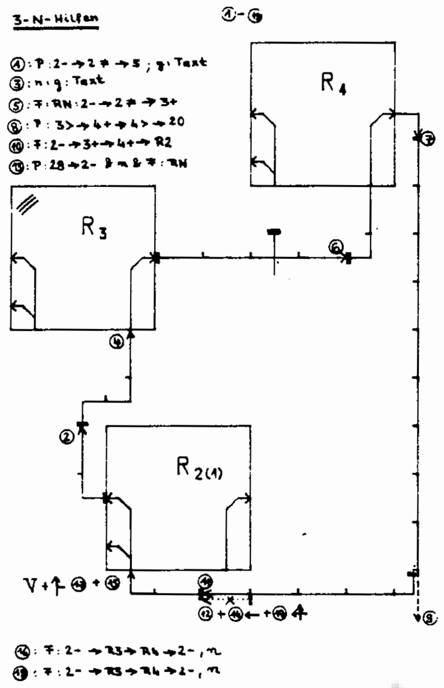
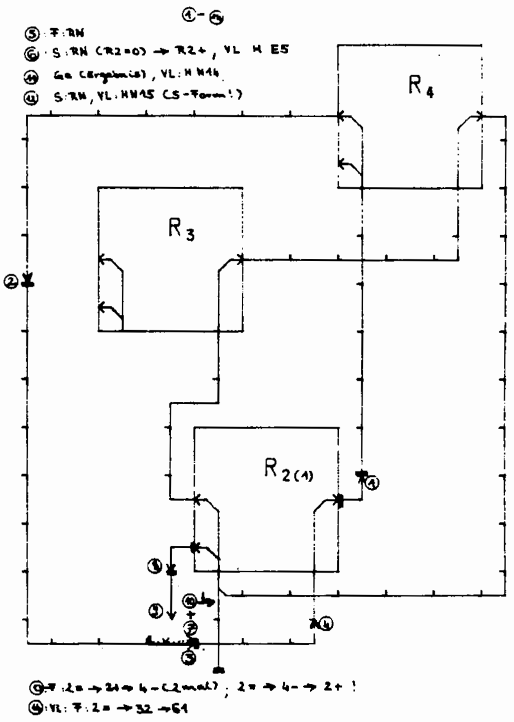

L 2.2k - 3 (Schritt 47-68)
L 2.2k - 6 (Schritt 148-170)
L 2.2k - 2 (Schritt 23-46)
L 2.2k - 5 (Schritt 105-147)
Liste 2.2k - 1 (Schritt 1-22)
L 2.2k - 4 (Schritt 69-104)

Abbildung 4

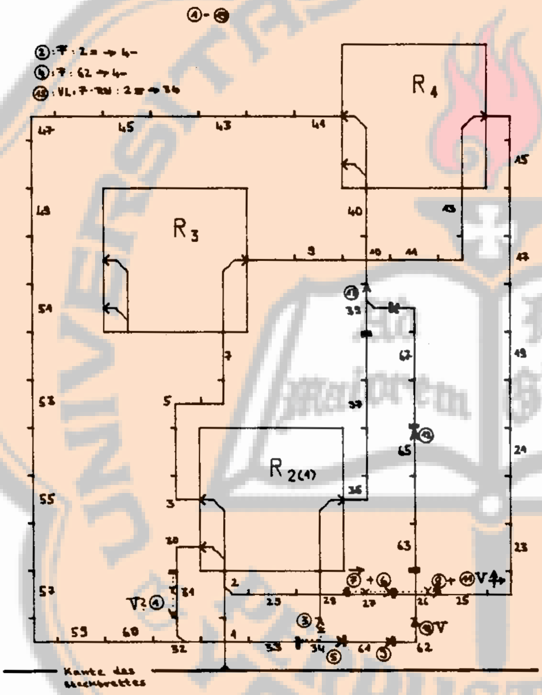
Srlat 2.2k - 1 (Schritt 1-51)



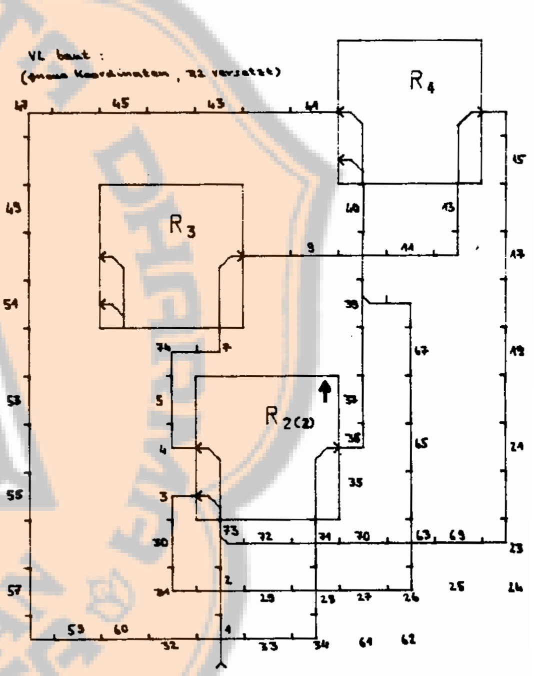
S 2.2k - 2 (Schritt 52-104)



S 2.2k - 3 (Schritt 105-123)



S 2.2k - 4 (Schritt 124-169)



6. Fallstudien bei einer a-Aufgabe

Im folgenden stellen wir vor, wie die drei schon im vorigen Kapitel untersuchten Schüler sich beim Lösen einer a-Aufgabe verhalten. Wir haben dazu die Aufgabe 2.3a, also die erste a-Aufgabe, ausgewählt. Es handelt sich um die Analyse der Wirkungsweise des Programmwortes

$$A_2S_4A_1$$

Eine Besonderheit besteht bei dieser Aufgabe darin, daß das PW keine Schleife enthält. Für einige Schüler, die mehr prädikativ sich zurechtfindenden, wirkte dies wie eine Falle. Insbesondere diejenigen, die sich die Bedeutung eines Programmes eher von dessen schrittweisen Wirkung her erschließen, also die funktional denkenden Schüler, waren gegen diese Falle nicht so anfällig.

Insgesamt soll mit dieser Aufgabe gezeigt werden, daß die drei vorgestellten Schüler ein Verhalten zeigen, das zu dem paßt, welches wir bei den k-Aufgaben festgestellt hatten. Wir interpretieren dies so, daß die Denkstile "funktional"/"prädikativ" tiefer liegen als Vorlieben für konstruktive oder analytische Aufgabentypen.

Die Aufgabe 2.3a besteht aus zwei Teilen: einer Frage mit konkreten Zahlbeispielen und einer mit Variablen (Aufgabentext vgl. Kap. 2.2.2). Wir stellen die Schüler im folgenden nach beiden Aufgabenteilen getrennt vor. Erst wird jeweils eine Interpretation des Schülerverhaltens gegeben, danach folgt ein Beleg durch eine Stelle aus dem Transskript. In Tabelle 6.1 findet man eine Übersicht über die Lösungswege der vier Schüler.

1. Teilaufgabe: Arbeit mit konkreten Zahlen:

Barus/Sriat setzen das angegebene PW korrekt um, der Prozeß wird stückweise bearbeitet; während Listi global den Begriff eines gesteuerten Programms anwendet (=Struktur aller bislang ausgedachten Algorithmen) und in dem vorgelegten PW das PW $(_4A_2S_4A_1)$ sieht.

Tabelle 6.1

Protokoll der Berarbeitung von Aufgabe 2.3a, die einzelnen untereinander aufgeführten Schritte geben Lösungsvorschläge der Schüler an.

Es bedeuten weiter
H#: gegebene Hilfe
E#: gegebene Extrahilfe (Hilfe, die ursprünglich im Versuchsdesign nicht vorgesehen war
I: Instruktion durch VL, nicht als Hilfe gewertet

	Barus				H	Listi				H	Sriat				H
	R_1	R_2	R_3	R_4		R_1	R_2	R_3	R_4		R_1	R_2	R_3	R_4	
Input	2	3	0	4		2	3	0	4		2	3	0	4	
1	3	4	0	3		6	7	0	0	H18	3	4	0	3	
2						3	4	0	3						
Input	x_1	x_2	0	x_4		x_1	x_2	0	x_4		x_1	x_2	0	x_4	
1	x_1-1	x_2+1	0	x_4-1		x_2	x_3	0	x_2	E1	x_3	x_4	0	x_2	E1
2	x_1+1						x4							3=4-1	I
3											2+1	3+1		4-1	
4						2+1=3	3+1=4		4-1=3		x_1+1	x_2+1	0	x_4-1	
5						x_1-1	x_2+1		x4-1	I					
6						x_1+1	x_2+1		x_4-1						

Besonderheiten einzelner Schüler:

Barus

1.Leseart des PW: semantisch (vgl. Sriat)
B: "..R_2 wird 1 addiert, R_4 wird 1 subtrahiert; R_1 wird 1 addiert...".

2.Barus interpretiert beim Vorlesen der Aufgabenstellung 1.Teil die Leere des Nicht-Ausgefülltseins der Ergebnis-Spalten mit leer/nichts/Null als Beschreibung des zu erreichenden Zielzustandes der Registerinhalte.
Damit zeigt er sich fähig zu eigenständigen originellen Interpretationen (vgl. Überschrift im Sagen-Test). Weiter zeigt sich wieder, daß er kein Formalist ist.

B: "...(Ergebnis) R_1 wird leer, R_2 wird leer, R_3 wird leer, R_4 wird leer."
VL:"Das bedeutet nicht "leer", sondern du mußt da eintragen".

3.Es ist unklar, ob Barus zu diesem Zeitpunkt die Neuartigkeit der Aufgabe erkennt: Ein Algorithmus ist nicht -wie bisher- zu erfinden, sondern zu analysieren.

Barus setzt sein Vorlesen fort. Den Hinweis des VL -eine begriffliche Klarstellung- konnte er nicht einfach in seine Vorstellung einbauen. Er ist nicht sicher, was Nichtausgefülltsein im 2.Teil der Aufgabenstellung bedeuten soll.

B.: "(Ergebnisteil:) Wird das ausgefüllt?"
VL: "Ja".

4.Barus denkt nun ca. 50 sec. nach und gibt auf Anhieb die korrekte Lösung an.

Listi

1.Leseart des PW: eher syntaktisch (als semantisch) einschließlich Betonung der Abfolge.
Listi scheint das PW wie nach aufgerufenem gelerntem Schema zu lesen, ohne sich dabei wirklich Gedanken über den beschriebenen Prozeß zu machen. Dies wird erst nötig bei der Lösung der Aufgabe. Dann zeigt sich, daß Listi eine Theorie über das PW anwendet, die nicht im Einklang mit seinem ersten Vorlesen steht, soweit man seine Worte mit der üblichen Bedeutung versteht.

L: "...Subtrahiere.., addiere 1 in R_2, dann subtrahiere 1 in R_4, dann geht man in R_1 hinein und addiert 1 in R_1".

2.Seine erste (unpassende) Lösung schreibt Listi nach Vorlesen der Aufgabenstellung und ca. 3 min. Nachdenken. In dieser Zeit wird er sich die Aufgabe zurechtgelegt haben: Verstehen der Aufgabenstellung, Analyse des PW's, Operieren mit den konkret gegebenen Registerinhalten im Sinne des PW's.

Die Erklärung des Schülers auf die Nachfrage des VL zeigt, daß er seine Theorie zu dem PW als eine Möglichkeit (die ihm naheliegende und stimmigste) sieht, wie das PW zu verstehen ist. Alternative Möglichkeiten bietet er nicht an.

VL: (Hilfe 18 - Teil 1)
"Ist das richtig? Ist das R_1=6 und R_2=7 richtig?"

L: "Wir gehen hinein und addieren 1, dann gehen wir in R_4 hinein und subtrahieren 1. Da die Zahl vorgegeben ist, heißt das, daß wahrscheinlich in R_4 4 subtrahiert wird, bis es Null wird.
Das heißt, wenn 4 subtrahiert wird, bedeutet, daß wir 4 mal hierdurch (R_2) und 4 dazu addieren, so daß es 7 ist. Also gehen wir in R_2 4 mal, das heißt, dazu wird 4 addiert, so daß es 7 wird. Desgleichen wird in R_1 4 dazu addiert".

3.Beim Vorlesen des PW's nach Aufforderung des VL's hält Listi weiter an seiner Theorie fest. Zu deutlich steckt die Wiederholung für ihn in dem PW und liegen Alternativen sehr weit weg. Erst als der VL den Fehler in Listi's Annahme direkt benennt, sind dessen Gedanken offen für eine alternative, in sich schlüssige Annahme -die zutreffende-, und er findet zur korrekten Lösung.

VL: (Hilfe 18 - Teil 2)
"Lies das Programmwort vor!" (VL zeigt dabei auf PW)
L: "Wir gehen in R_2 hinein, subtrahieren (eigentlich:addieren) 1 in R_2. Dann gehen wir in R_4 hinein, subtrahieren 1 in R_4, dann gehen wir in R_1 hinein, addieren 1 in R_1. Wir gehen wiederholt, bis R_4 leer ist...(Geflüster)".
VL: (Hilfe 18 - Teil 3)
"Warum hast du gerade gesagt "wiederholt?"
L: "Oh,..nein, nur einmal".

Sriat

Leseart des PW: semantisch (vgl. Barus)

S: "..Addiere..eh.. addiere in R_2, subtrahiere in R_4, addiere in R_1.."

Liest den Aufgabentext vor, denkt ca. 1 min. nach und gibt die richtige Lösung an.

2. Teilaufgabe: Arbeit mit Variablen

Barus löst das Problem auf funktionale Weise, Listi auf begrifflich/prädikative Weise. Allein Barus schreibt die allgemeine Lösung korrekt auf. Er versteht, was zu tun ist. In dem PW liest er der Reihe nach die auszuführenden Tätigkeiten heraus und es gelingt ihm (trotz seiner Schwäche im formalen Bereich), die jeweils beschriebene Veränderung der Registerinhalte an den Variablen korrekt kenntlich zu machen. Höchstens Barus sieht in den Bezeichnungen x_1, x_2, x_4 Namen für den Inhalt der einzelnen

Register. Am Inhalt können Veränderungen vorgenommen werden; an indizierten Variablen muß es den Schülern eigenartig erscheinen.

Besonderheiten einzelner Schüler:

Barus

Zum Nachdenken und Aufschreiben der Lösung benötigt Barus ca. 1 min. Mit funktionalem Denken, Denken in den einzelnen Tätigkeiten, ist die Aufgabe leicht zu lösen.
Zunächst gibt Barus das Ergebnis in R_1 fälschlich mit x_1-1 an; vielleicht "im Trott"?. In der zuvor ausgefüllten Spalte für R_4 mußte bereits als vorgenommene Veränderung hinter x_4 eingetragen werden -1 (und R_1 ist mit 3 eingetragen gleich wie R_4 - nur nicht so zu behandeln), Flüchtigkeit?
Die Nachfrage des VL's veranlaßt Barus jedoch nicht zur sofortigen Korrektur: Barus scheint überzeugt, daß tatsächlich Subtraktion um 1 ausgedrückt werden muß. Erst die abverlangte Erklärung für A_1 öffnet ihm die Augen.

VL: "Wieviel in R_1?"
B: "In R_1 steht beliebige Zahl minus ein".
(Vielleicht hat er hier nur lokal den betreffenden Spalteneintrag vorgelesen.)
VL: "Warum subtrahiert man?"
B: "Weil in dem Problem "R_1 wird 1 subtrahiert" steht."
(Vielleicht guckt er dabei nicht im PW nach. Möglicherweise ist er sich so sicher, nur ausgeführt zu haben, was dort steht, daß eine solche Vergewisserung sich für ihn erübrigt.)
VL: "Wo steht das? Was bedeutet A_1?"
B: nimmt Korrektur vor.
"A_1 bedeutet "addiere 1 in R_1".

Listi

Seine nicht allgemeingültige Lösung gibt Listi nach 1 min. Nachdenken an. Nicht der Weg, wie das Ergebnis erreicht wird, steht für ihn im Vordergrund, sondern die Relationen, in denen die Ergebnisinhalte der Register zu den Anfangs-Registerinhalten stehen. Dabei spricht ihn die auffällige Gleichheit von Registerinhalten deutlich stärker an als die komplexere Beziehung von 3 (Ergebnis in R_1) zu 2 (Anfangsbelegung von R_1), 3 ist der Wert 2 um eins vergrößert. Hinzu kommt, daß bislang die Ergebnisse im einzelnen Register sich mit aus den Anfangsbelegungen anderer Register bestimmten (das Steuerregister -bis auf 2.2.- ausgenommen).

Tatsächlich ist die hier verführende Idee der Gleichheit die einfachere der beiden genannten Prädikate. Sie gehört zu den Grundvorstellungen jedes (normalen) Menschen; laufend wird sie von ihm im Alltag beim Zurechtfinden eingesetzt.
Das Tun der Maschine ist nicht die Welt von Listi. Listi hat bei seiner Lösung keine Idee von Zahlverarbeitung.

Sriat

Obwohl Sriat die konkrete Aufgabe richtig gelöst hat verfällt sie in diesem Aufgabenteil demselben Fehler wie Listi. Wir interpretieren ihr Verhalten als prädikativ-sequentiell.
Zu der Etiketierung "prädikativ" neigen wir, da es einem ausgeprägt funktionalen Schüler kaum passieren dürfte, daß er "plötzlich vergißt", daß es um die Verarbeitung der Registerinhalte laut Programm geht. Sequentiell bewirkt, daß Sriat auf das konkrete Beispiel sofort eingeht und es "buchstabenweise" verarbeitet. Die schwierige Variablendarstellung führt sie zum Nachdenken, das heißt sie wendet ihre geistigen Werkzeuge bestimmter an - und die lassen sie prädikativ ihr Urteil finden.

3. Zusammenfassung des Verhaltens bei a-Aufgaben:

Die Auswertung der Videobänder hat gezeigt, daß es unterschiedliche Arten gibt, wie Schüler mit den a-Aufgaben umgehen. Bei der hier vorgestellten Aufgabe 2.3a ist dieses am einfachsten darzustellen.

Wir kommen zu dem Urteil, daß das Verhalten von Barus mit dem Begriff "funktional", das Verhalten von Listi mit dem Begriff "prädikativ" im Sinne von SCHWANK (1985) am besten beschrieben wird. Sriat ist "prädikativ" in Etappen ihres Vorgehens. Hier bietet es sich an, den Begriff "sequentielle Denkstrategie" im Sinne von KAUNE (1985b) mit zur Erklärung heranzuziehen. Wir glauben, daß das Verhalten von Sriat mit dem Begriff "sequentiell-prädikativ" zutreffend erklärt werden kann. Wir halten dies für einen ersten Hinweis darauf, daß die Ebene der Denkstile und die der Denkstrategien auseinandergehalten werden müssen. In diesem Sinne ist das Verhalten von Barus mit "begrifflich-funktional", das von Listi mit "begrifflich-prädikativ" zu beschreiben.

Bei der Analyse des Schülerverhaltens bei den beiden a-Fehler-Aufgaben findet sich das eben dargestellte Verhalten der Schüler wieder (Tabelle 4.2).

Barus findet den Fehler im Netz (3.3F) ohne Hilfe, im PW (4.6F) hat er Schwierigkeiten. Er hilft sich dadurch, daß er das PW in ein Netz übersetzt, um das Funktionieren besser verstehen zu können. Dann repariert er den Fehler in seinem Netz und übersetzt dieses zurück in ein PW.

Listi scheitert im Netz. Er versucht die Netz-Analyse prädikativ, ohne sich näher mit dem Funktionieren zu beschäftigen. Er braucht 2 Hilfen. Die Verbesserung des Programmwortes ist für ihn bei seinem prädikativen Zugriff kein Problem (0 Hilfen).

Sriat löst beide Aufgaben ohne Hilfen. Sie arbeitet sich sequentiell durch das Netz und findet durch ein prädikatives Urteil sofort den Fehler in der PW-Aufgabe.

Es würde den Rahmen sprengen, wenn man das Verhalten bei den anderen a-Aufgaben hier genau darstellen wollte. Das Verhalten der vier Schüler ist konsistent.

7. Die Situation des Mathematikunterrichts in Indonesien

7.1 Vorbemerkungen

Es ist immer schwer, eine allgemeine Situationsbeschreibung zu geben. Es gibt aber noch einen besonderen Grund, der es schwierig macht, ein allgemeines Urteil über den Mathematikunterricht in Indonesien zu fällen.

Indonesien ist ein Land mit großen Entfernungen und großen kulturellen Unterschieden. Indonesien besteht aus etwa 13.300 Inseln, von denen heute ca. 6.000 bewohnt sind. Die fünftgrößte Insel ist Java, die Heimat von 2/3 der 150 Millionen Indonesier ist. Java ist der am besten entwickelte Teil des Landes, Zentrum von Handel, Industrie, der Kultur und der Wissenschaft. Yogyakarta, wo wir unsere Untersuchungen durchgeführt haben, liegt im mittleren Java. Die Stadt und ihre Umgebung hat etwa 1 Million Einwohner, davon sind 60.000 Studenten. Neben einer großen staatlichen Universität (ca. 19.000 Studenten) gibt es eine große staatliche Pädagogische Hochschule (ca. 15.000 Studenten) und mehrere private Universitäten und Pädagogischen Hochschulen (ca. 23.000 Studenten). Die Ausbildung der Lehrer für die allgemeinbildende Mittelschule (entspricht in etwa dem Gymnasium) erfolgt an den Pädagogischen Hochschulen. Die Ausbildung der Grundschullehrer erfolgt nicht an diesen, sondern an eigenen Lehrerausbildungsakademien.

In Yogyakarta, der Stadt meiner Hochschule, und Umgebung gibt es etwa 140.000 Schüler in der Mittelstufe des "Gymnasiums" (Klasse 7-9) und 43.000 Schüler in der Oberstufe des "Gymnasiums" (Klasse 10-12). In der Regel hat ein Lehrer 24 Unterrichtsstunden pro Woche zu geben; auf dem Land kommen für den Lehrer noch einige Überstunden dazu. Die Zahl der Schüler pro Klasse liegt zwischen 40 und 50, die Mädchen sind in den Schulen etwas unterrepräsentiert.

(Die hier angeführten Zahlen sind den im Literaturverzeichnis zitierten Statistiken 1-4 entnommen.)

7.2 Zur Situation des Mathematikunterrichts in Indonesien um 1970

Wir schildern zunächst die Situation des Mathematikunterrichts, wie sie BEEBY in seinem Bericht "Assesment of Indonesian Education, a Guide in Planning" sieht. BEEBY war als Berater im Ausbildungsministerium von 1970-1973 tätig. In dieser Zeit wurde in Indonesien ein nationales Projekt "Penilaian Nasional Pendidikan" (Nationales Bewertungsprojekt über Ausbildung) durchgeführt. BEEBY (1981) schreibt über den Unterricht allgemein (S.80-81):

1. Grundschule

- Die Methode des Unterrichts ist traditionell.
- Bis Klasse 4 lernen die Schüler Lesen und einfaches Rechnen. Sie lernen auswendig, ohne den Sinn des zu Lernenden zu verstehen.
- Die Lehrer dozieren, manchmal fragt auch ein Schüler. Aber die meiste Zeit verbrauchen sie zum Diktieren oder zum Anschreiben an die Tafel, weil die Schüler kein Textbuch haben.
- Außer dem Textbuch haben die Lehrer keine anderen Bücher zum Nachschlagen.
- Die Lehrer haben keine Ahnung von den Problemen der Schüler.
- Der Unterricht zeigt, daß die potentiellen Fähigkeiten der Schüler nicht entwickelt werden. Die Schüler lernen passiv, die Lehrer versuchen nicht, sie zu aktivieren. Die Lehrer sind nicht in der Lage, die schöpferische Kraft der intelligenteren Schüler hervorzuheben.
- Der Unterrichtsprozeß ist routiniert, langweilig. Diese Situation reicht nicht aus, um das Land gut entwickeln zu können.

  Da die Lehrer schlecht verdienen, müssen sie außerhalb der Schule oder noch in anderen Schulen arbeiten, um Geld zu verdienen. D.h. sie haben fast keine Zeit und Konzentration, um ihren Unterricht gut vorzubereiten.

2. Sekundarstufe

- Das Unterrichten in der Sekundarstufe unterscheidet sich nicht viel von dem der Grundschule. Die Lehrer brauchen ca. 50% der Unterrichtszeit, um an die Tafel zu schreiben oder den Schülern zu diktieren. Während des Unterrichtsverlaufs gibt es sehr wenig Zeit, um Schülerfragen zu beantworten.
- Die Schüler lernen passiv, sie schreiben das, was der Lehrer ihnen diktiert oder an die Tafel schreibt, ohne die Informationen zu verarbeiten.
- Die Lehrer kümmern sich nicht um die persönlichen Probleme der Schüler. Sie versuchen nicht, die Fähigkeiten der Schüler zu entwickeln. Nur sehr wenig Lehrer versuchen, die Schüler zu motivieren, selbständig zu arbeiten.
- In dem Fall, daß es unterschiedliche Meinungen gibt, versuchen die Lehrer nicht, Alternativen zu geben und sie mit den Schülern zu diskutieren.
- Die Unterrichtsmethode hängt nur vom Textbuch ab. Wie in der Grundschule haben die Lehrer keine anderen Bücher zur Unterrichtsvorbereitung.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß BEEBY den Unterrichtsprozeß als nicht zufriedenstellend beschreibt. Seiner Meinung nach ist die Qualifikation der Lehrer schlecht.

7.3 Die heutige Situation

BEEBY beschreibt die Situation der Ausbildung allgemein in Indonesien, wie sie bis 1973 gewesen ist. Seit dieser Zeit hat sich die Situation aber stark geändert:

Fast jeder Schüler hat nun mindestens ein Schulbuch, beispielsweise als Mathematikbuch die Übersetzung des Entebbe-Projekts (Entebbe Mathematics Series des Education Development Center, Newton, Mass. USA) für die Grundschule. Die Lehrer haben neben dem Schulbuch auch ein Lehrerhandbuch mit wenigen Hinweisen über didaktische Fragen.

In der Sekundarstufe benutzt man einheitlich in Indonesien als Textbuch für den Mathematikunterricht die Übersetzung von "Modern Mathematics for Schools", das von der Scottish Mathematics Group geschrieben wurde.

DEMUTH (1976) berichtet, daß er 5 Bände des englischen Originals untersucht hat. Er sagt, daß nur 30% aller Schüler diesen Mathematikbüchern folgen können. Deshalb ist eine Überraschung, daß die Schüler in Yogyakarta nach dem National Sampling Test, der im Schuljahr 1982/83 durchgeführt wurde, durchschnittlich 53,2% des Inhalts verstehen konnten (Klasse 7: 50,2%, Klasse 8: 46,8%, Klasse 9: 54,7%). Yogyakarta ist die zweitbeste Stadt aus 8 Provinzen, die an diesem Test teilnahmen. (Indonesien besteht aus 27 Provinzen.) Die anderen 5 Provinzen haben folgende Resultate: 57,9%; 30,5%; 38,2; 32,7% und 20,6%.
(Die hier gennanten Zahlen sind der im Literaturverzeichnis aufgeführten Statistik 5 entnommen.)

Nach DEMUTH halten die Lehrer an Schulen mit mixed ability classes die Bücher in den ersten beiden Jahren der Sekundarstufe für ungeeignet (S.101). DEMUTH kritisiert die Bücher folgendermaßen:

"Bei den SMG-Büchern handelt es sich um eine außerordentlich saubere, ausgewogene und bis in alle Details durchdachte mathematische und didaktische Arbeit. Man spürt auf jeder Seite das Anliegen, unbeirrt von mathematischen Schlagworten die Schüler an mathematische Kenntnisse und Einsichten heranführen zu wollen, die unserer Zeit angepaßt sind, ohne das Alte zu leugnen. Moderne Begriffe werden dort gebraucht, wo sie besser als andere dazu dienen, mathematische Zusammenhänge durchsichtig zu machen (Relationen, Variablen, Aussagen, Aussageformen, Lösungsmengen). Das SMG-Werk ist ein gutes Beispiel dafür, wie auch mit einem minimalen formal-deduktiven Aufwand (d.h. ohne einen Definition-Satz-Beweis-Beispiel-Aufgaben-Rhythmus) anspruchsvolle mathematische Begriffe und Zusammenhänge deutlich gemacht werden können. Ein wenig merkwürdig berührt andererseits die konsequent durch alle Bände durchgehaltene Dreiteilung in Algebra, Geometrie und Arithmetik. Vielleicht empfindet man es auch als Mangel, daß der Phantasie des Schülers recht wenig Raum gegeben wird. Alle Denkschritte sind im Detail vorgeplant, für Spielereien und Entdeckungen bleibt fast kein Raum." (S.101-102)

Die Rahmenrichtlinien und Lerninhalte wurden nach der Struktur der Schulbücher so geschrieben, daß man den Eindruck hat, daß die Ziele des Mathematikunterrichts nicht von den Lerninhalten formuliert wurden. Wir sind der Meinung, daß die Ziele des Mathematikunterrichts so stark an den Lerninhalten orientiert und so detailliert formuliert werden, daß die Lehrer selbst keine Mühe mehr brauchen, das Ziel zu formulieren. Dazu kommt noch das Bewertungssystem, nämlich der multiple-choice Test. Die Konsequenz daraus ist, daß es sehr wenig Raum für problem solving, Argumentieren, Begründen und Formalisieren gibt. Der Lehrer denkt nicht mehr daran, daß Argumentieren und Mathematisieren, kreatives Denken und selbständiges Arbeiten wichtige Ziele sind.

Auf der gleichen Ebene liegt die in 2.3.1 angesprochene mangelhafte Verwendung von didaktischen Materialien.
In der letzten Zeit ist eine Tendenz zu beobachten -wegen der besseren Finanzmöglichkeit und wahrscheinlich auch wegen der Entwicklung des Bewußtseins über die Nützlichkeit dieser didaktischen Materialien-, diese in der Schule vermehrt zu verwenden, z.B.: magnetische Tafel und verschiedene dazu passende Komponenten, logische Blöcke von Dienes oder ähnliche, verschiedene geometrische Figuren usw.

Das Problem ist nur, ob die Lehrer genau wissen, wie man diese Materialien einsetzen kann, um Mathematik leichter zu verstehen. Die Reform des mathematischen Curriculum in der Grundschule ist noch umstritten. Seit 1976 lernen die Schüler in der Schule (Grundschule bis Gymnasium Oberstufe) die sog. neue Mathematik, die vom Bourbakismus beeinflußt wurde.

Dafür ein Lehrplanbeispiel aus der Grundschule:
Ab der 1. Klasse der Grundschule orientiert sich die Mathematik an Mengenlehre. Der Mathematikunterricht im ersten Halbjahr der ersten Klasse der Grundschule (in ganz Indonesien ist das Einschulungsalter 6-7 Jahre) gliedert sich folgendermaßen:

1. Begriff "Menge" lernen
2. Begriff "Element" einer Menge lernen
3. Anzahl der Elemente zweier Mengen durch Pfeildiagramme vergleichen
4. Begriff "gleich viel", "weniger als" und "mehr als" lernen
5. Begriff "leere Menge" lernen
6. Begriff "Ordnung der Menge" lernen (durch Ordnen der Menge der Anzahl der Elemente nach)
7. Begriff "bijektive" Abbildung" (durch Pfeildiagramm) lernen
8. Begriff "Zahl" lernen (Die Zahl 2 z.B. wird mit verschiedenen zweielementigen Mengen dargestellt.)
9. Begriff "Ziffer" und ihre Schreibweise lernen. Man wählt eine Darstellung von Menge, benennt die Zahl als Anzahl der Elemente und schreibt darunter die passende indisch-arabische Ziffer.
10. Begriff "Ordnung" der natürlichen Zahlen lernen (durch Ordnen der Zahlen in eine Reihe der Größe nach und Schreiben in Zahlendarstellung (Ziffer)).
11. Begriff "Vereinigung" zweier disjunkter Mengen lernen
12. Begriff "Addition" zweier natürlicher Zahlen aufgrund des Begriffs "Vereinigung" zweier Mengen lernen.
    Hier ist der Anfang des Rechnens in der Grundschule. Man zeigt den Schülern zwei disjunkte Mengen. Unter jede Mengendarstellung schreibt man die entsprechende Zahlendarstellung, unter das "U" Zeichen schreibt man "+". An der rechten Seite des "Gleichheits"-Zeichens malt man die Ergebnismenge und darunter schreibt man die Summe der beiden Zahlen.
13. Andere Schreibweise des Additionsprozesses lernen.
14. Begriff "Dezimalstellenwerte" lernen.

Im Rahmen dieser Arbeit kann nicht auf die Problematik dieses Lehrgangs aus fachlicher und didaktischer Sicht, wie sie inzwischen in der Bundesrepublik Deutschland diskutiert wird, eingegangen werden. Im Westen sind Ziele des skizzierten Curriculum schon wieder überholt.

7.4 Unterrichtsmethodik

Die Unterrichtsmethodik hängt natürlich von den zu erreichenden Zielen und Lerninhalten ab. Wenn die Ziele des Unterrichts auf Lerninhalte orientiert sind, unterrichtet man auch entsprechend. Da, wie DEMUTH bemerkt, die Bücher bis in alle Details durchdacht sind, brauchen die Lehrer nicht viel Mühe für die Vorbereitung aufzuwenden. Sie unterrichten oft Mathematik routiniert, monoton und uninteressant. In den Büchern wird jeder Begriff mit einigen Beispielen vorgestellt. Die Lehrer nehmen alle Informationen auf und versuchen, das alles auf die Schüler zu transferieren. Die Lehrer sind sehr aktiv, die Informationen bis in Einzelheiten den Schülern zu erklären, als ob die Schüler nicht fähig seien, einen Teil der Arbeit selbst zu leisten. Es scheint, daß die Lehrer die Aufgabe sehen, die Inhalte der Schulbücher den Schülern beizubringen. Wenn man damit fertig ist und ein gutes Ergebnis hat, ist die Aufgabe des Lehrers zu einem Ende gekommen. Diesen allgemeinen Eindruck können wir noch einmal durch eine Befragung derjenigen Lehrer ergänzen, die wir im Zusammenhang mit der Untersuchung an unseren Schülern 1984 befragt haben. Es waren insgesamt 10 Mathematiklehrer von 5 Schulen. Wir stellten ihnen u.a. folgende Fragen:

1. Sind Sie mit Ihrem Mathematikunterricht zufrieden? Wenn ja, warum, wenn nein, warum?
2. Stellen Sie häufig offene Fragen?
3. Wie reagieren die Schüler auf Ihre Fragen?
4. Stellen Sie häufig individuell ausgerichtete Fragen?
5. Wie reagieren die Schüler auf Ihre Fragen?
6. Welche Fragen (was, wie, warum) stellen Sie des öfteren?
7. Haben Sie während des Unterrichtsverlaufs spontane Fragen von Schülern bekommen?
8. Welche Frageform (geschlossen oder offen) stellen Sie häufiger?
9. Organisieren Sie Diskussionen und Debatten oder problem solving in Ihrem Mathematikunterricht?
10. Welches Bewertungssystem benutzen Sie?

11. Was halten Sie für wichtig:
    a) Die Schüler können das Ergebnis eines Problems liefern?
    b) Die Schüler können den Prozeß der Lösung herausfinden?
    c) Zuerst die Lösung erarbeiten und dann den Lösungsprozeß?
    d) Zuerst die Prozesse und danach die Lösung erarbeiten?
12. Wie, glauben Sie, daß Ihre Schüler den Unterricht verstanden haben?
13. Glauben Sie, daß die Schüler fähig sind, selbständig ein Problem zu lösen?

Auf diesen Fragebogen haben leider nur 7 Lehrer geantwortet. Wir hatten auch Schwierigkeiten, Interviews durchzuführen, weil die Termine nicht paßten oder die Lehrer keine Zeit hatten.

Zwischen den Antworten der Lehrer und meinen Beobachtungen beim Besuch von Unterrichtsstunden liegt eine große Differenz. Man kann sie so beschreiben: Viele Lehrer wissen, was zu tun ist, aber sie wissen nicht, wie es zu tun ist, oder sie nehmen die Gelegenheit nicht wahr, es zu tun. Man kann dies an einigen Beispielen erläutern: Die Lehrer glauben, daß die Schüler in der Lage sind, selbständig ein Problem zu lösen, aber sie geben in ihrem Unterricht dem Schüler keine oder nur selten Gelegenheit dazu. Sie organisieren nur sehr selten eine Diskussion, in der die Schüler ihre eigenen Ideen ausdrücken können. Die Lehrer sind zufrieden und glauben, daß die Schüler den Unterricht verstanden haben, wenn sie auf eine Testfrage die richtige Antwort geben. Die Lehrer halten zwar den Prozeß der Problemlösung für wichtig, in ihrem Unterricht lernen die Schüler aber in der Regel nur eine Routine. Auch in unseren Untersuchungen zeigte sich, daß die Schüler gewohnt sind, die Anweisungen genau zu befolgen, die sie in der Einführungsstunde gelernt hatten. Die Lehrer fragen sehr selten eine "Warum"-Frage. Sie versuchen nicht, die Schüler miteinander diskutieren zu lassen.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Lehrer durch den Lehrplan und das Prüfungssystem angehalten werden, den Lehrplan in Bezug auf die Lerninhalte zu erfüllen und nicht in Bezug auf die Ziele des Verstehens.

Auch heute noch verdienen die Lehrer schlecht. Das führt immer noch dazu, daß sie in mehreren anderen Schulen oder sogar außerhalb der Schule arbeiten, um zusätzliches Geld zu verdienen. Die Konsequenz ist, daß die Lehrer sich nicht mit ihrer Hauptaufgabe, sondern bevorzugt mit ihren Nebenaufgaben beschäftigen.

7.5 Lehrerausbildung

Das Verhalten der Lehrer hängt von dem ab, was sie während ihres Studiums gelernt haben. Insbesondere spiegelt das Verhalten der Lehrer in ihrem Mathematikunterricht die Situation der Mathematiklehrerausbildung an den Pädagogischen Hochschulen wieder. Die Lehrer selbst sind ein Produkt dieses Systems. Ihre Erfahrung als Schüler und in ihrer Studienzeit beeinflußt auch ihre Mentalität als Lehrer.

Die Ausbildung der Lehrer für die Mittelschule an den Pädagogischen Hochschulen in Indonesien ist nahezu ausschließlich fachlich orientiert. Die Mathematik-Dozenten fühlen sich als Mathematiker, nicht aber als Mathematikdidaktiker. Sie haben keine Erfahrung in empirischer mathematikdidaktischer Forschung.

In Yogyakarta beispielsweise, wo es zwei große staatliche Hochschulen und mehrere private Hochschulen gibt, gab es bisher nur einen Professor für Mathematikdidaktik, jetzt ist er in Pension .

Die didaktische Ausbildung der Lehrer gründet sich nahezu ausschließlich auf die Schulbücher. Es gibt fast keine Bücher über Mathematikdidaktik, mit deren Hilfe sie ihren Unterricht didaktisch verbessern könnten. Es gibt keine Ausbildung dazu, wie verschiedene didaktische Materialien oder Medien zum Lernen mathematischer Begriffe nutzbar gemacht werden können. Auch findet während des Studiums keine Ausbildung in denjenigen Teilen der kognitiven Psychologie statt, die für das Verstehen des Mathematikerlernens nützlich sind.

Wie die Lehrer, so arbeiten auch die Dozenten nicht nur an ihrer Hochschule, sondern noch an anderen Hochschulen oder in sonstigen Berufen, um Geld zu verdienen. Dies führt dazu, daß sie keine Zeit mehr haben, Forschung zu organisieren oder etwa verschiedene Forschungsmethoden zu entwickeln.

Die wissenschaftliche Atmosphäre in der Universität oder Pädagogischen Hochschule ist noch nicht gut entwickelt. Seminare finden selten statt. Die Vorlesungen sind auf die Vermittlung von Wissen ausgerichtet. Die Dozenten bemühen sich in der Regel nicht, die Studenten zu fördern, leiten diese nicht dazu an, aktiv und kreativ zu denken. Schon von der Schule her sind die Studenten daran gewöhnt, eher passiv zu lernen. Sie sind gute Zuhörer, aber schlechte mitarbeitende Teilnehmer. Sie sind sich nicht bewußt, daß und wie sie lernen müssen, um ihr Ziel zu erreichen. Das Bemühen der Studenten beschränkt sich darauf, Fakten und Begriffe auswendig zu lernen. Diese Gewohnheiten sind sehr schwer zu ändern.

Die Vorlesungen finden in indonesischer Sprache statt, die meisten der Bücher sind aber auf Englisch geschrieben. Es gibt nur wenig indonesisch geschriebene Mathematikbücher auf Universitätsniveau. Für Mathematikdidaktik gibt es nahezu keine indonesischen Bücher, eine eigene indonesische Zeitschrift für Mathematikdidaktik existiert nicht. Der Informationsfluß über mathematikdidaktische Arbeiten ist nicht organisiert. Man weiß nicht, wenn jemand eine Untersuchung im Bereich der Mathematikdidaktik durchführt, Ergebnisse sind sehr schwer zu erfahren.

Während ihres Studiums machen die Lehrerstudenten sehr wenig Erfahrungen mit der Situation des Mathematikunterrichts in der Schule. Erst in letzter Zeit versuchen die Pädagogischen Hochschulen, gute Kontakte mit der Schule aufzubauen, und schicken die Studenten in die Schulen, um Unterrichtsprozesse zu beobachten und mit den Lehrern über Unterricht zu diskutieren. Während des Praktikums müssen die Studenten den Lehrern helfen, die Hausaufgaben der Schüler zu korrigieren. Manchmal können sie selbst unterrichten. Diese Praktika sind aber von der Hochschule nicht inhaltlich vorbereitet und werden nicht von den Dozenten begleitet.

7.6 Verbesserung der quantitativen und qualitativen Lehrerversorgung

Im Laufe der Zeit ist es der Regierung gelungen, die politische und wirtschaftliche Situation des Landes zu verbessern. Diese Verbesserung im Lebensstandard der Bevölkerung zieht aber andere und zwar große Probleme nach sich. Sehr viele Kinder haben nun die Möglichkeit, in die Schule zu gehen. Das bewirkt einen großen Lehrerbedarf. Die Ausbildungskapazität der Pädagogischen Hochschulen ist unterdessen nahezu konstant geblieben. Deshalb hat die Regierung sog. Crash-Programme insbesondere für die Lehrerausbildung entwickelt. Eine Pädagogische Hochschule hat außer den normalen Kursen auch noch diese Crash-Programme zu organisieren. In solchen Crash-Programmen kann ein Student wahlweise eins, zwei oder drei Jahre studieren, bevor er als Lehrer in der Sekundarstufe arbeitet. Die Studenten, die in diesen Crash-Programmen studieren, sind im Durchschnitt schwächer als diejenigen, die an den normalen Kursen teilnehmen. Und was können sie in einem Jahr lernen? Sie haben wenig Vorkenntnisse in Mathematik und Mathematikdidaktik. Man wird in 3 bis 6 Jahren die Resultate sehen, die von einer solchen Lehrerausbildung bewirkt werden.

Um die Qualität der in der Schule unterrichtenden Lehrer zu verbessern, werden folgende Versuche unternommen:

1. **Lehrerfortbildungskurse:** Die Lehrer werden einige Zeit lang in jedem Jahr an ein Zentrum für Lehrerfortbildung geschickt, um dort ihre Kenntnisse in Mathematik und Methodik des Mathematikunterrichtes zu verbessern. Solche Zentren für Lehrerfortbildung gibt es in mehreren Provinzen.
2. **Fernstudien:** Durch die Teilnahme an Mathematikkursen im Fernsehen oder im Rundfunk können die Lehrer ihre Kenntnisse verbessern. Mit der Post wird ihnen Lernmaterial zugeschickt. Sie müssen die Aufgaben lösen und die Lösung zur Zentrale einschicken. Wenn sie sich dazu in der Lage fühlen, können sie an Prüfungen teilnehmen. Eine

solche bestandene Prüfung ist Grundlage für eine Beförderung (das Recht, eine höhere Klasse zu unterrichten, und höheres Gehalt).

3. Nach einigen Jahren Schultätigkeit können Lehrer für ein Weiterbildungsstudium zur Pädagogischen Hochschule zurückkommen.

Der Erfolg dieser Bemühungen wird von vielen Faktoren abhängen, auf die ich hier nicht weiter eingehen kann. Ich bin aber der Meinung, daß Forschung in der Mathematikdidaktik bei der Bewältigung der Probleme eine wichtige Rolle spielen wird.

7.7 Wechselwirkung zwischen Lehrerausbildung und mathematikdidaktischer Forschung

Für eine Verbesserung der Situation des Mathematikunterrichts und der Mathematiklehrerausbildung in Indonesien halte ich eine größere Wechselwirkung zwischen mathematikdidaktischer Forschung und Lehrerausbildung für wesentlich.

Bei meinem dreieinhalbjährigen Forschungsaufenthalt an der Universität Osnabrück hatte ich Gelegenheit, genaueren Einblick in eine Forschungsgruppe zu nehmen und exemplarisch daran zu erfahren, wie die gewünschte Wechselwirkung zwischen Forschung und Lehrerausbildung funktionieren kann.

Zum besseren Verständnis meiner Zukunftsvorstellungen für Indonesien will ich zunächst darstellen, wie diese Wechselwirkung in Osnabrück funktioniert.

7.7.1 Struktur der Lehrerausbildung in Deutschland

Ich beginne dazu mit einer kurzen Darstellung der deutschen Lehrerausbildung. Ich kann nur die große Linie aufzeigen, da es einmal zwischen den einzelnen Bundesländern Nuancen gibt und zum anderen sich auch Veränderungen in den letzten 10 Jahren vollzogen haben.

Die Lehrer für Allgemeinbildende Schulen werden in drei Gruppen ausgebildet: Lehramt für Grundschule in Verbindung mit dem Lehramt für Hauptschule, Lehramt für Realschule und Lehramt für Gymnasium. Diese Ausbildungen finden an Wissenschaftlichen Hochschulen statt. Die fachwissenschaftliche und fachdidaktische Ausbildung (in zwei bis drei Unterrichtsfächern) und eine Grundausbildung in Erziehungswissenschaft dauert (einschließlich der Prüfungen) für das Lehramt an Grund- und Hauptschulen etwa 3,5 Jahre, für das Lehramt an Realschulen 4 Jahre und für das Lehramt an Gymnasien mindestens 5 Jahre. In vielen Fällen haben die Studenten während ihrer Studienzeit ein Praktikum in einer Schule abzuleisten, das von den Hochschulen (unterschiedlich intensiv) betreut wird. Teil der Abschlußprüfung an der Hochschule ist die Erstellung einer wissenschaftlichen Hausarbeit. Im Anschluß an die Hochschulausbildung findet eine 18-monatige schulpraktische Ausbildung in Verantwortung der Schulen statt. Diese schließt mit einer unterrichtspraktischen Prüfung ab, zu der einmal wieder eine Hausarbeit, in der über Unterrichtsprojekte berichtet wird, als auch das Abhalten von Unterrichtsstunden und Prüfungen in Fachdidaktik und Pädagogik gehören. Die hier dargestellten Teile der Lehrerausbildung bieten also an verschiedenen Stellen Gelegenheit, Ausbildung von Studenten und didaktische Forschungs- und Entwicklungsarbeit sowie nach dem Studium die schulpraktische Ausbildung miteinander zu verknüpfen.

7.7.2 Ein Beispiel für die Wechselwirkung von Forschung und Lehrerausbildung

Im Kap. 2.1 habe ich dargestellt, welche Beziehungen meine Untersuchung zu diesem größeren Forschungszusammenhang hat. Ich möchte im folgenden das dort Gesagte noch einmal unter einem anderen Aspekt darstellen. Ich will daran aufzeigen, welche Wechselwirkung zwischen einzelnen Teilen der Lehrerausbildung, nämlich Fachpraktikum, wissenschaftliche Hausarbeit, Hausarbeit als Abschluß der schulpraktischen Ausbildung, und der fachdidaktischen Forschung bestanden hat.

Die Idee, das Konzept der Registermaschine als mathematisches Modell eines Computers für den Unterricht zu nutzen, führte zunächst im Rahmen von Curriculumentwicklungen zur Konzeption eines entsprechenden Kurses (COHORS-FRESENBORG 1973b,c). Eine Benutzung dieses Konzeptes in der Lehrerausbildung führte dann bei einem gelernten Ingenieur zu dem Wunsch, einen funktionierenden didaktischen Modellrechner im Rahmen einer Examensarbeit für das Lehramt an Realschulen zu entwickeln (CARSTENSEN 1975). Die didaktische Weiterentwicklung dieses Konzeptes für die Mittelstufe des Gymnasiums wurde dann wesentlich von Studenten in ihrem Fachpraktikum mitgetragen. Sie führte zum Erstellen eines Textbuches für die Schüler, welches zwei Studentinnen mit Professor Cohors-Fresenborg nach ihrem Schulpraktikum geschrieben haben (COHORS-FRESENBORG/GRIEP/SCHWANK 1979). Eine dieser Studentinnen hat dann ihre weitere Mitarbeit an diesem Projekt dazu genutzt, über dieses Thema als Examensarbeit ein Lehrerhandbuch zu schreiben (COHORS-FRESENBORG/GRIEP 1982). Andere Studenten, die das Konzept während ihrer Hochschulausbildung kennengelernt hatten, haben diese Gedanken während ihrer schulpraktischen Ausbildung in die Schule getragen und über diese Konzepte ihre Examensarbeit im Rahmen der zweiten Lehrerprüfung geschrieben (CARSTENSEN 1978, DORNBUSCH/PINKE 1979,A.SCHWENDERLING 1985).

Mit dem didaktischen Material "Dynamische Labyrinthe" ist die Entwicklung ähnlich verlaufen. Ein von ihm zu betreuendes Schulpraktikum in der Grundschule nutzte Professor Cohors-Fresenborg zu ersten schulpraktischen Erprobungen mit dem von ihm entwickelten neuen Material. Eine der beteiligten Studentinnen hat die Erfahrungen dieser ersten Erprobungsphase zum Thema ihrer wissenschaftlichen Hausarbeit gemacht (MUXFELDT 1975). An der Universität Osnabrück wurde die didaktische Konzeption der Dynamischen Labyrinthe insbesondere durch die engagierte Mitarbeit von Studenten im Fachpraktikum weiterentwickelt. Zwei Studentinnen benutzten die dabei gemachten Erfahrungen, um in ihrer wissenschaftlichen Hausarbeit am Ende des Studiums die Konzeption einer Serie von Heften für programmierten Unterricht zu erarbeiten (COHORS-FRESENBORG/FINKE/SCHÜTTE 1979). Aber auch in der sogenannten zweiten Phase der Lehrerausbildung, der unterrichtspraktischen Ausbildung in der Schule, war die Erprobung der Dynamischen Labyrinthe Gegenstand von Hausarbeiten (SPITZMANN 1977, STEINWENDER 1984).

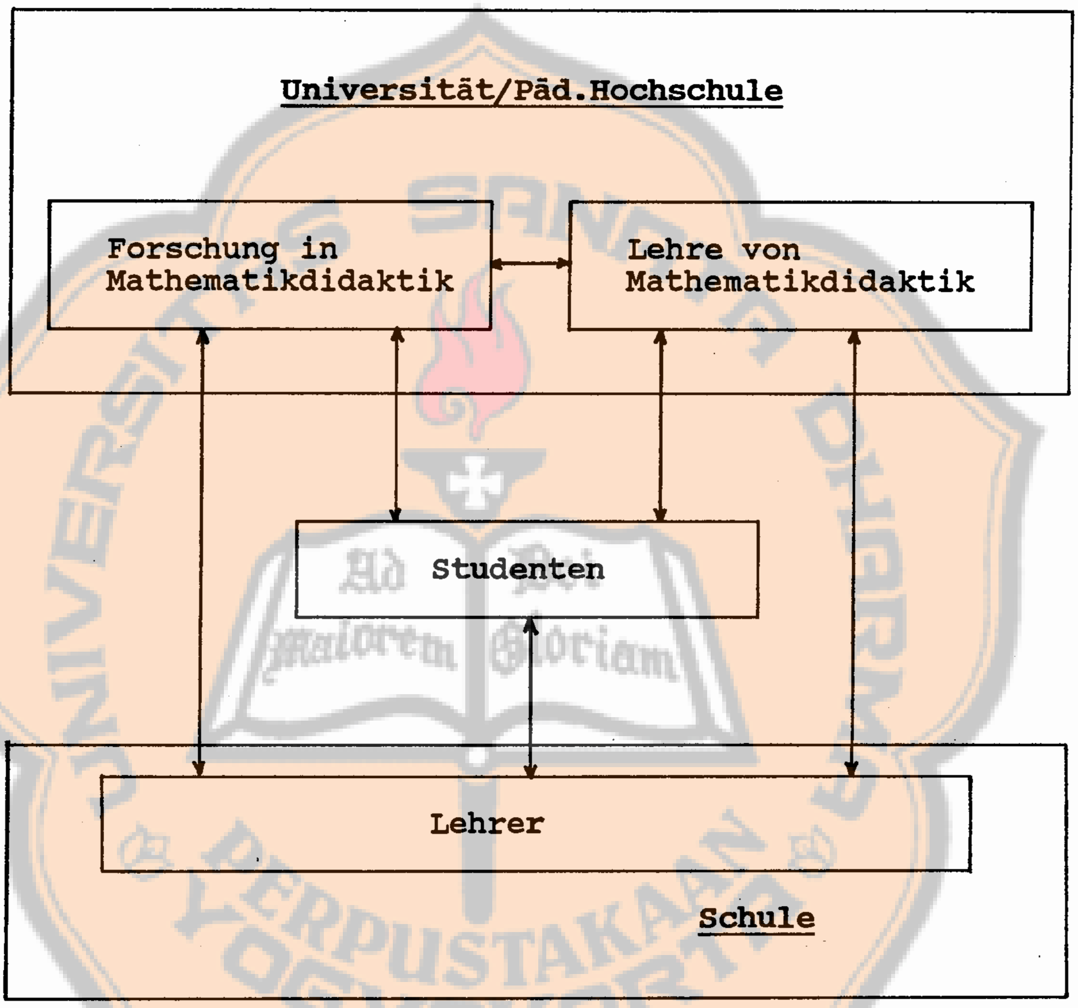
Neben der hier noch einmal kurz dargestellten fachdidaktischen Entwicklungsarbeit waren Studenten während ihres Studiums und mit ihren wissenschaftlichen Hausarbeiten zum Ende des Studiums intensiv an der fachdidaktischen Forschung beteiligt, wie sie in Kapitel 2.1.3 dargestellt worden ist. Dieses gilt zunächst einmal für die Untersuchungen mit hörgeschädigten Schülern (GOLDBERG 1980, STEINWENDER 1982, THURAND 1982). Daneben wirkten Stundenten als wissenschaftliche Hilfskräfte mit bei der eigentlichen experimentellen Erforschung der Denkprozesse von Schülern beim Umgang mit Algorithmen (SCHWANK 1979). Die erste größere experimentelle Arbeit wurde im Rahmen einer wissenschaftlichen Hausarbeit durchgeführt (W.SCHWENDERLING 1982). Die umfangreichen systematischen Untersuchungen über die Denkprozesse von Schülern beim Konstruieren und Analysieren von Algorithmen wurden im Rahmen einer mathematikdidaktischen Dissertation von einer Gymnasiallehrerin durchgeführt, die nach längerem Schuldienst für einige Jahre an die Universität beurlaubt wurde, um sich dort in mathematikdidaktischer Forschung und Lehre weiterzubilden (KAUNE 1985b).

In der hier dargestellten Tradition einer Wechselwirkung zwischen Lehrerausbildung und fachdidaktischer Forschung haben sich schließlich auch eigenständige Forschungsarbeiten entwikkelt, die nicht Gegenstand von Examensarbeiten waren. Hier ist einmal eine Analyse mathematischer Lernprozesse mit kognitionstheoretischen Modellen zu erwähnen, bei der die unterschiedlichen Denkprozesse der Schüler beim Umgang mit Algorithmen ein analysiertes Beispiel darstellten. Dieses hat Eingang in eine von Professor Cohors-Fresenborg betreute Habilitationsschrift gefunden (HASEMANN 1984). Zum anderen ist die dargestellte Forschungstradition auch eine Plattform, von der aus Nachwuchswissenschaftler, die während ihres Lehramtsstudiums durch Teilnahme an Forschungsprojekten frühzeitig gefördert worden sind, ihre eigenen wissenschaftlichen Projekte und Theorien entwikkeln (SCHWANK 1985).

Die Ergebnisse der an der Universität Osnabrück und im Forschungsinstitut für Mathematikdidaktik e.V. betriebenen Grundlagenforschung haben auch Auswirkungen auf den Mathematikunterricht der schon in den Schulen tätigen Lehrer. Dazu ist eine Tradition von Fortbildungstagungen für Mathematiklehrer aufgebaut worden, auf denen eine Verbindung von Schulpraxis und mathematikdidaktischer Forschung angestrebt ist. Die Wissenschaftler bringen dort ihre Ergebnisse ein (z.B.KAUNE 1985a, SCHWANK 1985).

7.7.3 Zukunftsvorstellungen

Einen Ansatz zur Lösung des Problems einer Verbesserung des Mathematikunterrichts in Indonesien kann man mit folgendem Schema andeuten:



Forschung in Mathematikdidaktik arbeitet mit der **Lehre** von Mathematikdidaktik an der Universität/Pädagogischen Hochschule zusammen, das Lernen und Lehren der Mathematik in der Schule zu verbessern. Dabei hat Forschung die Aufgabe, Probleme genau zu untersuchen und Theorien aufzubauen. Die Studenten sollen an diesen Aktivitäten beteiligt werden. Diese Erfahrungen sind für sie und für die Reform des Curriculums in der Schule wichtig. Später sollen die Studenten als Lehrer nicht nur unterrichten, sondern selbst Unterrichtsprobleme untersuchen.

Wir stellen uns vor, daß es für Mathematikdidaktik an der Universität/Pädagogischen Hochschule unter den Aspekten von Forschung und Lehre zwei Bereiche gibt, die sich teilweise decken. Die mathematikdidaktische Lehre soll die von der Forschung durchgeführten Untersuchungen mit den Studenten diskutieren und die Ideen und Theorien weiterentwickeln. In der Forschung soll insbesondere empirische Forschung und Entwicklungsarbeit betrieben werden.

Das Fachpraktikum stellt eine wichtige Verbindung zwischen Theorie und Schulpraxis dar. Neben den üblichen Aufgaben, den Studenten einen Einblick in die Probleme des Unterrichtens von Mathematik zu geben, sehen wir eine besonders wichtige Rolle darin, daß Studenten den "agent of reform" spielen können. Wenn die Studenten keine neuen Ideen in die Schule mitbringen und nur Routine-Unterricht praktizieren, wird diese Schulpraxis nicht interessant und nur zur Belastung für Lehrer und Schule. Eine intensive Vorbereitung und Betreuung der Studenten im Fachpraktikum durch die Dozenten der Mathematikdidaktik bietet eine große Chance, Resultate mathematikdidaktischer Forschungs- und Entwicklungsarbeit über die Studenten in die Schule zu tragen. Da sich für die Betreuung von Studenten oft gerade die an einer Verbesserung des Mathematikunterrichtes besonders interessierten Lehrer melden, ergibt sich hier eine Chance, daß auf der einen Seite der Dozent mit dem Student seine innovativen Ideen einbringt, auf der anderen Seite der Lehrer seine Erfahrung des alltäglichen Mathematikunterrichtes. Nach dem Fachpraktikum werden die von den Studenten gesammelten Erfahrungen in der Universität/Pädagogischen Hochschule weiterdiskutiert und für die Forschung als eine Quelle der Information über die augenblickliche Situation der Schule benutzt.

Ein zweiter Kanal sind direkte Kontakte zwischen der Forschungsgruppe und Mathematiklehrern in empirischen Forschungsprojekten, die sich mit Grundlagenproblemen der Mathematikdidaktik beschäftigen. Die von uns vorgelegte Arbeit wäre als ein Beispiel solcher Grundlagenforschung anzusehen. Auch in diesem Bereich halten wir die Mitarbeit von Studenten und Lehrern für äußerst wichtig. Frühzeitige Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses in Mathematikdidaktik ist ein klares Ziel solcher Forschungsarbeit. Ein weiteres sehen wir darin, daß die Mitarbeit in fachdidaktischen Forschungsprojekten einen bedeutenden Beitrag zur Qualifizierung von Führungsnachwuchs für die Schulen darstellt. Qualifizierung durch Beteiligung an Forschung ist außerhalb der Schule (z.B. in der chemischen Industrie) längst ein wesentlicher Bestandteil der Heranbildung von Führungspersonal.

Ein nächster Kanal sind regelmäßige Treffen zwischen mathematikdidaktischen Forschern und Lehrern in der Form von Tagungen oder einer Gesellschaft für Mathematikdidaktik. Solche Kontakte halten wir nicht zuletzt deshalb für sehr wichtig, weil bisher die Dozenten der Universität/Pädagogischen Hochschule wenig wissen, was in der Schule eigentlich geschieht, welche Probleme die Schule hat. Andererseits haben auch die Lehrer Bedürfnis, mit der Universität/Pädagogischen Hochschule in Verbindung zu bleiben. Wir sind der Meinung, daß das mathematische Curriculum und die Methodik des Mathematikunterrichtes sowie die Probleme der Mathematikdidaktik nicht statisch gesehen werden dürfen, sondern dynamisch in dem Sinne, daß die Schule die Tendenz der Entwicklung in der Gesellschaft ebenso berücksichtigen muß wie in der Wissenschaft. Eine harte Kritik an unserem Ausbildungssystem ist u.a., daß das Curriculum der Schule und sogar der Universität/Pädagogischen Hochschule immer überholt ist im Vergleich mit der Entwicklung der Technologien, der Industrie und der Wissenschaft.

Durch Kontakte zwischen Universität/Pädagogischer Hochschule, mathematikdidaktischer Forschung und den Lehrern, bei dem die Studenten als "agent of reform" dienen, kann man dieses Problem einer kontinuierlichen Reform am besten realisieren.

8. Zusammenfassung

In dieser Arbeit haben wir uns damit beschäftigt, die kognitiven Prozesse der Schüler beim Konstruieren und Analysieren von Algorithmen zu untersuchen. Die Methode der Untersuchung war das klinische Interview. Unseren Untersuchungen lag das Konzept zugrunde, daß das Kernproblem des Programmierens in der Organisation von Handlungssequenzen liegt, die ein Computer auszuführen hat.

Mit einem solchen handlungsorientierten Ansatz glauben wir, am ehesten einen Beitrag zu einem interkulturellen Vergleich zwischen indonesischen und deutschen Schülern beim Umgang mit Algorithmen leisten zu können. Unser Hauptaugenmerk lag darin, die geistige Mechanismen und kognitiven Strukturen der Schüler zu verstehen und von dort her einen Einblick in kulturelle Unterschiede zu gewinnen. Unser Anliegen bestand nicht darin, statistisch abgesicherte Aussagen für den durchschnittlichen Schüler zu machen. Schon in unserer kleinen Stichprobe indonesischer Schüler haben wir zeigen können, daß es große Unterschiede in der Art gibt, wie sich die Schüler ihre Gedanken über Algorithmen machen. Diese Unterschiede zeigen sich einmal in der Vorliebe für eine bestimmte Repräsentationsform. Wir konnten hier die Bedeutung der äußeren Repräsentation für die algorithmische Begriffsbildung bestätigen, wie sie COHORS-FRESENBORG (1985) herausgearbeitet hat. In diesem Punkt konnten wir die Beobachtungen von KAUNE bei deutschen Schülern auch für unsere indonesischen Schüler bestätigen.

Wir konnten weiter zeigen, daß es verschiedene kognitive Strukturen mathematischen Denkens gibt. Wir fassen dieses als eine innere Repräsentation der Begriffe auf. In unseren Untersuchungen haben wir Schüler gefunden, die im Sinne der Theorie von

SCHWANK (1985) eher prädikative oder eher funktionale Denkstile (innere Repräsentationen) bevorzugen. Desgleichen konnten wir nachweisen, daß in der Ebene der Denkstrategien die von KAUNE (1985b) vorgestellten beiden Richtungen des begrifflichen oder sequentiellen Vorgehens bei unseren indonesischen Schülern existieren. Darüber hinaus konnten wir eine Vermutung von SCHWANK bestätigen, daß die beiden Begriffspaare prädikativ/funktional und begrifflich/sequentiell die Unterschiede von kognitiven Strukturen und Denkstrategien beschreiben. Sie verhalten sich zueinander wie Objektebene und Metaebene.

Schon bei unseren wenigen Versuchspersonen konnten wir zeigen, daß es Zusammenhänge zwischen Denkstilen und Denkstrategien, Formen der Repräsentation, kognitivem Tempo und Intelligenz hinsichtlich der Leistung der Versuchspersonen gibt. Insbesondere war festzustellen, daß sich eher bei intelligenten Schülern ein ausgeprägter Denkstil und bestimmte Denkstrategien auffinden lassen. Wir weisen hier noch einmal darauf hin, daß alle unsere Beobachtungen nur auf den engen Rahmen unserer algorithmischen Aufgaben bezogen sind. Wir sind aber überzeugt, daß sie sich verallgemeinern lassen.

Zum Schluß möchten wir noch einige Bemerkungen zum interkulturellen Vergleich gegben. Der scheinbar große Unterschied bezüglich der Erfahrungen mit technischen Spielzeugen und didaktischen Materialien ist als Grundlage für mathematisch-algorithmische Begriffsbildung längst nicht so groß, wie man aufgrund allgemeiner Vorurteile erwarten könnte. Ein kurzes Training konnte ihn weitgehend ausgleichen. Wesentlich deutlicher haben wir den Unterschied in der "Kultur" des Lernens erfahren: Die indonesischen Schüler waren sehr viel mehr an ein Verhalten gewöhnt, bei dem sie das vom Lehrer Vorgesetzte einfach als Kopie übernehmen. Dieses ist eine schlechte Voraussetzung für eigenständiges Problemlösen.

Das Hauptresultat unserer Vergleichsstudie sehen wir darin, daß die individuellen Unterschiede in den beobachteten Kategorien von Repräsentationsformen, kognitiven Strukturen und Denkstrategien innerhalb der einzelnen Gruppen der deutschen und der indonesischen Schüler wesentlich größer und wichtiger sind, als daß man sinnvoll zu einem Vergleich zwischen den beiden Gruppen greifen sollte. Die mathematischen Profile der von uns untersuchten indonesischen Schüler weisen eine sehr viel größere Spannweite auf, als der Einheitsstil des mathematischen Unterrichtes in Indonesien berücksichtigt.

Literatur

BEEBY,C.E.(1981): Pendidikan di Indonesia, LP3S, Yakarta (Übersetzung von: Assesment of Indonesian Education, a Guide in Planning, by C.E.BEEBY, Council for Educational Research, New Zealand, 1979)

BIGALKE,H.G.(1978): Sinn und Bedeutung der Mathematikdidaktik, in: STEINER,H.G.(Hrsg.): Didaktik der Mathematik, Darmstadt

BISHOP,A.(1978): Visualising and Mathematics in a Pre-Technological culture, in: COHORS-FRESENBORG,E./WACHSMUTH,I.(Eds.): Proceedings of the 2nd International Conference for the Psychology of Mathematics Education, Osnabrücker Schriften zur Mathematik, Reihe D, Band 1, Osnabrück, S.79-90

BOLTER,J.D.(1984): Turing's man: Western Culture in the computer age, Chapel-Hill

CARSTENSEN,C.(1975): Ein schaltalgebraisches Modell von Registermaschinen, Examensarbeit für die erste Staatsprüfung für das Lehramt an Realschulen, Flensburg (unveröffentlicht)

CARSTENSEN,C.(1978): Registermaschinen und rekursive Funktionen - Neue Aspekte in der Behandlung mathematischer Begriffe in der R8, Berufswissenschaftliche Arbeit zur pädagogischen Prüfung für das Lehramt an Realschulen, Flensburg (unveröffentlicht)

COHORS-FRESENBORG,E.: (1972) Idealisierte Rechenmaschinen - Eine Einführung in die Informatik, in: Beiträge zum Mathematikunterricht 1972, Hannover, S.75-83

COHORS-FRESENBORG,E.: (1973a) Berechenbare Funktionen und Registermaschinen - Ein Beitrag zur Behandlung des Funktionsbegriffs auf konstruktiver Grundlage, in: Didaktik der Mathematik, Heft 3, S.187-209.

COHORS-FRESENBORG,E.: (1973b) Leistungskurs "Grundlagen der Mathematik" in der Kollegstufe, in: Zentralblatt für Didaktik der Mathematik, S.109-112

COHORS-FRESENBORG,E.: (1973c) Unentscheidbarkeitssätze in einem Leistungskurs "Grundlagen der Mathematik", in: Beiträge zum Mathematikunterricht 1973, Hannover, S.74-82

COHORS-FRESENBORG,E.: (1976) Dynamische Labyrinthe, in: Didaktik der Mathematik, Heft 1, S.1-21

COHORS-FRESENBORG,E.: (1977) Mathematik mit Kalkülen und Maschinen, Braunschweig

COHORS-FRESENBORG,E.: (1978) Learning Problem solving by developing automata networks, in:COHORS-FRESENBORG, E./WACHSMUTH,I. (Eds.): Proceedings of the 2nd International Conference for the Psychology of Mathematics Education, Osnabrücker Schriften zur Mathematik, Reihe D, Band 1, Osnabrück, S.108-115

COHORS-FRESENBORG,E.: (1979) Interatives Rechnen, rekursives Definieren, induktives Beweisen; in: DÖRFLER,W./FISCHER,R. (Hrsg.): Beweisen im Mathematikunterricht, Wien, S.135-143

COHORS-FRESENBORG,E.: (1981) Möglichkeiten und Grenzen einer algorithmischen Mathematik, in: BÖRGER,E. et al. (Hrsg.): Zur Philosophie der mathematischen Erkenntnis, Würzburg, S.81-105

COHORS-FRESENBORG,E.: (1982) The Understanding of Algorithmic Concepts on the Basis of Elementary Actions in: VERMANDEL,A.(Ed.): Proceedings of the 6th Conference for the Psychology of Mathematical Education, Antwerpen, S.2-7

COHORS-FRESENBORG,E.: (1983a) Methodische Überlegungen zur empirischen Forschung in der Mathematikdidaktik, in: Zentralblatt für Didaktik der Mathematik Heft 2, S.63-68

COHORS-FRESENBORG,E.: (1983b) Algorithmische Begriffsbildungen auf auf der Grundlage elementarer Handlungen - Theoretische Überlegungen, in: Beiträge zum Mathematikunterricht 1983, Bad Salzdetfurth, S.88-90

COHORS-FRESENBORG,E.: (1985) Verschiedene Repräsentationen algorithmischer Begriffe, in: Journal für Mathematikdidaktik, Band 6, S.187-209

COHORS-FRESENBORG,E./ FINKE,D./SCHÜTTE,S.: (1979) Dynamische Labyrinthe, Osnabrücker Schriften zur Mathematik, Reihe U, Hefte 1-9, 1A-9A, 21 (Lehrerbegleitheft), Osnabrück

COHORS-FRESENBORG,E./GRIEP,M./SCHWANK,I.: (1979) Registermaschinen und Funktionen: Ein Schulbuch zur Einführung des Funktionsbegriffs auf der Grundlage von Algorithmen, Osnabrücker Schriften zur Mathematik, Reihe U, Heft 22, 3.neubearbeitete Auflage, Osnabrück 1982

COHORS-FRESENBORG,E./GRIEP,M.(1982) Registermaschinen und Funktionen: Didaktische Analyse und methodische Ausarbeitung einer Unterrichtsreihe, Osnabrücker Schriften zur Mathematik, Reihe U, Heft 25, Osnabrück

COHORS-FRESENBORG,E./KAUNE,C.(1984): Sequential versus Conceptual - Two Modes in Algorithmic Thinking, in: SOUTHWELL, B. et al.(Eds.): Proceedings of the 8th Conference for the Psychology of Mathematics Education, Sydney, S.261-267

COHORS-FRESENBORG,E./KAUNE,C.(1985): Handlungsorientierte Lernumgebungen und kognitive Strategien beim Programmieren, in: BULLINGER,H.J. (Hrsg.) Software-Ergonomie '85 - Mensch-Computer-Interaktion, Stuttgart 1985, S.406-419

COHORS-FRESENBORG,E./REIMERS,B.(1975): Ein Demonstrationsmodell für Registermaschinen, in: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, Heft 7, S.401-409

COHORS-FRESENBORG,E./STRÜBER,H.J.(1982): The Learning of Algorithmic Concepts by Action - A Study with Deaf Children, in: LOWENTHAL,F.et al.(Eds.): Language and Language Acquisition, New York, S.95-106

DAVIS,R.B./McKNIGHT,C.C.(1979): Modelling the process of mathematical thinking; in: Journal of Children's Mathematical Behaviour, vol. 2, no.2, S.91-115

DEMUTH,P.(1976): Die Reform des Mathematikunterrichts für 13- bis 16jährige, Bern

DORNBUSCH,S./PINKE,H.: (1979) Rekursionstheorie als Einführung in die theoretische Informatik, schriftliche Hausarbeit, Universität Osnabrück, (unveröffentlicht)

FUCHS,W.,et al.(1978): Lexikon zur Soziologie, 2.Auflage, Opladen

GOLDBERG,A.(1980): Vergleichende Untersuchung zur algorithmischen Begriffsbildung bei hörbehinderten und hörenden Grundschülern, schriftliche Hausarbeit, Universität Osnabrück (unveröffentlicht)

HASEMANN,K.(1984): Analysen mathematischer Lernprozesse mit kognitionstheoretischen Modellen; Habilitationsschrift Universität Osnabrück; veröffentlicht unter dem Titel "Mathematische Denkprozesse - Analyse mit kognitionstheoretischen Modellen", Braunschweig 1986

KAGAN,J.(1965): Impulsive and Reflective Children: Significance of Conceptual Tempo, in: KRUMBOLTZ,J.D.: Learning and the Educational Process, Chicago

KAUNE,C.(1983): Algorithmische Begriffsbildungen auf der Grundlage elementarer Handlungen - Vorstellung eines Untersuchungsdesigns, in: Beiträge zum Mathematikunterricht 1983, Bad Salzdetfurth, S.163-167

KAUNE,C.(1984): Kognitive Stile beim Lösen algorithmischer Aufgaben, Osnabrücker Schriften zur Mathematik, Reihe P, Heft 68, Osnabrück

KAUNE,C.(1985a): Kognitive Strategien beim Umgang mit Algorithmen, in: SCHWANK,I. (Hrsg.): Axiomatische und algorithmische Denkweisen im Mathematikunterricht der Sekundarstufe I des Gymnasiums, Schriftenreihe des Forschungsinstituts für Mathematikdidaktik, Heft 1, Osnabrück

KAUNE,C.(1985b): Schüler denken am Computer - Eine Untersuchung über den Einfluß von Repräsentationsformen und kognitiven Strategien beim Konstruieren und Analysieren von Algorithmen, Schriftenreihe des Forschungsinstituts für Mathematikdidaktik, Heft 5, Osnabrück

KAUNE,C.(1985c): Interviews mit Schülern über die Bearbeitung algorithmischer Aufgaben, Osnabrücker Schriften zur Mathematik, Reihe D, Heft 7, Osnabrück

KILPATRICK,J.(1984): Reflection and Recursion, in: The Fifth International Congress on Mathematical Education, Adelaide

KLIX,F.(1983): Begabungsforschung - ein neuer Weg in der kognitiven Intelligenz- diagnostik, Zeitschrift für Psychologie, Band 191, Heft 4

KROEBER,A./ KLUCKHOHN,C.(1952): Culture: A critical review of Concepts and Definitions, Papers of the Peabody Museum of American Archeology and Ethnology, Harward University

KRUTETSKII,V.A.(1976): The Psychology of Mathematical Abilities in Schoolchildren, edited by Jeremy Kilpatrick and Izaak Wirzup, Chicago

LOWENTHAL,F.(1985): Nonverbal Communication Devices in Language Acquisition, Revue de phonétique appliquée, vol 73-75, S.155-166

LOWENTHAL,F./MARCQ,J.: (1980) Dynamical mazes used to favour communication in 7-8 year olds, in: KARPLUS,R. et al.(Eds.): Proceedings of the 4th International Conference for the Psychology of Mathematics Education, Berkeley, S.370-376

LOWENTHAL,F./MARCQ,J.: (1982) How do children discover strategies, in: VERMANDEL,A.(Ed.): Proceedings of the 6th Conference for Psychology of Mathematics Education, Antwerpen, S.156-161 und 287-292

LOWENTHAL,F./ SAERENS,J.(1986): Evolution of an aphasic child after the introduction of NVCDs, in: LOWENTHAL,F. et.a.(Eds.): Pragmatics and Education, New York

MULDER,N.(1973): Kepribadian Jawa dan Pembangunan Nasional, Yogyakarta

MUXFELDT,H.(1975): Ein Versuch zur Automatentheorie in der Primarstufe mit dem Lehrmittel Dynamische Labyrinthe", Schriftliche Prüfungsarbeit zur Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Grund- und Hauptschulen (unveröffentlicht), PH Flensburg

OTTMANN,T.(1973): Über Möglichkeiten zur Simulation endlicher Automaten durch eine Art sequentieller Netzwerke aus einfachen Bausteinen, in: Zeitschrift für mathematische Logik und Grundlagenforschung, Band 19, S.223-238

RAVEN,J.C.(1971): Advanced Progressive Matrices, Sets I and II, London

SCHWANK,I.(1979): Limits and Possibilities of the Methode of Thinking-Aloud, in: TALL,D. (Ed.): Proceedings of the 3rd International Conference for the Psychology of Mathematics Education, Coventry, S.186-190

SCHWANK,I.(1985): Zum Problem der Repräsentation algorithmischer Begriffe, in: SCHWANK,I.(Hrsg.): Axiomatische und algorithmische Denkweisen im Mathematikunterricht der Sekundarstufe I des Gymnasiums, Schriftenreihe des Forschungsinstituts für Mathematikdidaktik, Heft 1, Osnabrück

SCHWANK,I./ COHORS-FRESENBORG,E./ GOLDBERG,A.(1984): Algorithmischer Zugang zu neuen Begriffen: ggT, in: GEW Landesverband Niedersachsen Fachgruppe Blinden- und Gehörlosenschulen (Hrsg.), Tagungsbericht der FG-Herbsttagung im LBZH Braunschweig, S.36-55

SCHWENDERLING,A.(1985): Der Einsatz des Modellrechners Registermaschine im 7. Schuljahr der Realschule unter dem Aspekt, die Schüler in algorithmische Denkweisen einzuführen; Schriftliche Hausarbeit zur 2. Staatsprüfung für das Lehramt an Realschulen, Ausbildungsseminar Nordhorn (unveröffentlicht)

SCHWENDERLING,W.(1982): Empirische Untersuchungen über die Bildung algorithmischer Begriffe bei Schülern der Mittelstufe des Gymnasiums, Schriftliche Hausarbeit, Universität Osnabrück (unveröffentlicht)

SPITZMANN,C.(1977): Dynamische Labyrinthe - ein Unterrichtsversuch in einer 5. Klasse, Berufswissenschaftliche Arbeit zur pädagogischen Prüfung für das Lehramt an Realschulen, Flensburg, (unveröffentlicht)

STEINWENDER,J.(1982): Untersuchungen zur Methodologie des Leistungsvergleichs von hörbehinderten und hörenden Schülern beim Konstruieren von Algorithmen mit dem didaktischen Material "Dynamische Labyrinthe", Schriftliche Hausarbeit zur Prüfung für das Lehramt an Realschulen, Universität Osnabrück (unveröffentlicht)

STEINER,H.G.(1984): Theory of Mathematics Education (TME), in STEINER,H.G. et al.: Theory of Mathematics Education (TME), ICME-5, Topic Area and Mini Conference, Adelaide

STEINWENDER,J.(1984): Schulung algorithmischer Fähigkeiten unter Verwendung des didaktischen Materials "Dynamische Labyrinthe". Planung, Durchführung und Reflexion einer Unterrichtseinheit für die 5. Klasse einer Orientierungsstufe, schriftliche Hausarbeit zur 2. staatlichen Prüfung für das Lehramt an Realschulen, Ausbildungsseminar Syke (unveröffentlicht)

STERNBERG,R.J.(1982): Handbook of Human Intelligence, Cambridge, S.645

THURAND,A.(1982): Konstruktion von RM-Programmen auf der Grundlage einer elementaren Handlungsvorlage - Eine empirische Untersuchung zum Mathematikunter- richt mit hörbehinderten und hörenden Schülern des 5. Schuljahres, Schriftliche Hausarbeit zur Prüfung für das Lehramt an Realschulen, Universität Osnabrück (unveröffentlicht)

Statistiken über schulische Verhältnisse in Indonesien (zu Kapitel 7 dieser Arbeit):

1. Dep. P.&K., Badan Penelitian dan Pengembangan Pendidikan dan Kebudayaan (1981); Statistik Perguruan Tinggi Negeri, 1978, Jakarta
2. Dep. P.&K., Badan Penelitian dan Pengembangan Pendidikan dan Kebudayaan (1981); Statistik Perguruan Tinggi Swasta, 1978, Jakarta
3. Dep. P.&K., Badan Penelitian dan Pengembangan Pendidikan dan Kebudayaan (1983); Statistik Persekolahan, SMP, 1982/83, Jakarta
4. Dep. P.&K., Badan Penelitian dan Pengembangan Pendidikan dan Kebudayaan (1980); Statistik Persekolahan, SMA, 1980, Jakarta
5. Dep. P.&K., Dirjen PDM, Direktorat Pendikan Menengah Umum (1983); Buku Data Dasar Tes Sampling Nasional, SMP, 1982/83, Jakarta

A N H A N G

Sagentest:

Eine Geschichte

Es war einmal ein König von Yogyakarta mit Namen Panembahan Senopati. Der lebte eine Zeit asketisch als Einsiedler, und zwar an einem Ort in der Nähe von Bantul, der Nglipura hieß.

Als er nach Hause zurückkam, fragte ihn sein Onkel Ki Juru Mertani: "Hast du während deiner Askese etwas bekommen?"
"Ja, mein Onkel, ich habe einen Felsblock erhalten", antwortete Panembahan Senopati.
Weiter fragte ihn Ki Juru Mertani: "Können wir den benutzen, um eine Gefahr abzuwenden?"
"Nein, Onkel", antwortete Panembahan Senopati.
"Dann mußt Du noch einmal in die Einsamkeit gehen", befahl ihm Ki Juru Mertani. "Baue ein kleines Floß und fahre damit den Fluß hinunter, dann wirst du den Indischen Ozean erreichen und dort die Meereskönigin Kidul treffen".

Panembahan Senopati tat alles genau so, wie Ki Juru Mertani es ihm befohlen hatte. Er baute ein Floß für das Wasser und setzte sich darauf. Damit fuhr er den Fluß entlang bis zum Indischen Ozean. Dort traf er die Königin Kidul. Als er vom Indischen Ozean zurückkehrte, fragte ihn Ki Juru Mertani:
"Was hast du diesmal erreicht?"
"Du hattest recht, Onkel, ich habe die Königin getroffen."
"Und dann", fragte Ki Juru Mertani weiter, "hast du etwas von ihr nach Hause mitgebracht?"
"Ja, sie hat mir Öl und Eier gegeben".
"Gib die Eier dem Gärtner", befahl Ki Juru Mertani.

Diesen Befehl führte Panembahan Senopati sofort aus. Er gab die Eier dem Gärtner. Als dieser sie in der Hand hatte, aß er sie sofort auf. Wenige Sekunden später wurde der Gärtner zum Riesen.

Auf Vorschlag von Ki Juru Mertani hin befahl Panembahan Senopati dem Riesen, in das Dorf Plawangan in der Nähe des Vulkans

Merapi zu gehen. Seine Aufgabe war es, von dort aus den Vulkan im Auge zu behalten. Er sollte immer in diesem Dorf bleiben, und wenn Gefahr von Merapi kam, d.h. wenn der Vulkan ausbrach, sollte er sich dem Lavastrom entgegenstellen und so verhindern, daß die Katastrophe nach Süden, nämlich in Richtung Yogyakarta kam.

Das ist der Grund dafür, daß die Lava niemals in Richtung Süden fließt, wenn der Vulkan explodiert. Deshalb ist das Land südlich des Merapi immer geschützt und frei von Gefahr.

2. UNTERSUCHUNGSDESIGN

1. Stunde - Blatt 1 - Konstruktion eines Programmwortes zur Addition und eines zur Subtraktion

Instruktion des Lehrers	Diagnose, Kommentar, Ziel der Hilfen
N.N., die Maschine, die du hier siehst, ist eine Rechenmaschine, die ohne unsere Hilfe gar nichts kann. Wir müssen ihr beibringen, wie sie Rechenaufgaben zu lösen hat. Ich erzähle dir dazu, was du wissen mußt, um mit der Maschine umgehen zu können.	
Es ist immer wichtig, daß du Fragen stellst, wenn du nicht genau weißt, was zu tun ist. Viel fragen und nach Möglichkeit laut denken! Vorkenntnisse benötigst du hier nicht! Fangen wir an: Du weißt ja, daß 5 + 3 = 8 ist. Die Maschine weiß das aber noch nicht.	
Deine Aufgabe soll es nun sein, der Maschine das Addieren beizubringen. Das wollen wir am Beispiel 5+3 einmal probieren. Hast du spontan eine Idee dazu?	K: Der S. soll zunächst merken, daß hier überhaupt ein Problem besteht. Es wird nicht erwartet, daß der S. eine weiterführende Antwort gibt. Wenn der S. wie beim TR die Zahlen 3 und 5 eingeben will, dann ...
... Deine Idee ist gut für den TR. Aber diese Maschine versteht das nicht. Sie besitzt auch keine "+"-Taste.	
Um der Maschine das Addieren zu erklären, müssen wir die Aufgabe, obwohl sie so einfach ist, in noch einfachere Teilschritte zerlegen. Das ist ein wichtiger Schritt, den wir in Zukunft bei jeder Aufgabe berücksichtigen müssen! Erinnere dich einmal daran, wie du rechnen gelernt hast:	K: Hiermit soll der S. bereits auf eine Lösungsstrategie für die Erstellung von Programmworten hingewiesen werden.
Die Zahl Fünf stellen wir uns nun als 5 gelbe Stäbchen vor (legt 5 gelbe Stäbchen in Register 1 und die Zahl Drei als 3 rote Stäbchen in Register 2). Und die Register stellen wir uns als Zähler bzw. Speicher einer Rechenmaschine vor. Wie organisiert man es nun, daß wir in Zähler 1 am Schluß die Summe der beiden Zähler, d.h. also hier 5+3=8 Stäbchen liegen haben?	K: Begründung dafür, daß in den unterschiedlichen Registern auch verschiedenfarbige Stäbchen liegen müssen: Dem S. muß klargemacht werden (und zwar deutlich), daß die Operationen in den verschiedenen Registern jeweils unabhängig sind. Durch Hilfen sollte verhindert werden, daß der S. die Stäbchen von einem Register in die anderen transportiert.
Deine Idee ist gut, aber wir haben einige Spielregeln, an die du dich halten mußt:	D: S. nimmt zunächst die roten Stäbchen heraus und setzt dann 3 gelbe herein.
Lies bitte einmal laut vor, was auf dem Kästchen steht. Versuchst du es noch einmal, indem du dich aber an die Spielregeln hälst.	K: Der VL stellt das Kästchen mit den "Spielregeln" für den Umgang mit den Stäbchen in das Blickfeld des Schülers.
	K: Wenn jetzt noch Fehler auftreten, die durch Nichtbeachtung einer Spielregel entstehen, sollte der VL auf die nichtbeachtete Spielregel hinweisen.
	D: Der S. führt zuerst die Addition, dann die Subtraktion aus.
Stell dir vor, du solltst 5+0 rechnen.	D: S. legt erst (einzeln) die gelben, dann (einzeln) die roten Stäbchen.
Aber woher weiß die Maschine, wann sie aufhören muß!	Wenn der S. dann immer noch nicht den richtigen Algorithmus erkannt hat, führt ihn der VL selbst aus.
Du hast jetzt schon mit Stäbchen die Additionsaufgabe gelöst. Nun sollst du eine Maschine bauen, die dasselbe kann, was du eben mit den Stäbchen gemacht hast. Dazu brauchen wir so einen Zählbaustein. Er kennt die Zahlen von 0 bis 10.	
Probier einmal aus, was passiert, wenn du mit dem Stäbchen durch den Zähler fährst.	K: VL muß auf folgende Spielregeln aufmerksam machen:
Man darf nur von unten nach oben fahren; also vom Loch zur Nase.	K: S. soll die Arbeitsweise des Zählers mit eigenen Worten erläutern: Wenn man rechts durchfährt, zählt sie eins vorwärts, wenn man links durchfährt, zählt sie eins rückwärts.
Fahre einmal durch den Zähler bis der Inhalt = 0 ist, was passiert dann?	K: Der S. soll mehrmals durch den Zähler fahren, bis dieser = 0 ist.
Kannst Du dir nun eine Lösung mit diesen beiden Zählern vorstellen?	K: Der VL legt dem S. ein Steckbrett mit zwei Zählern und den Baukasten vor.
Dafür müssen die beiden Zähler durch eine Bahn verbunden werden, es muß einen Eingang geben, durch den du in das Netz kommst und einen Ausgang, den du erreichst, wenn die Rechnung beendet ist. Du hast hier nun verschiedene Bausteine: Geraden, Kurven, Kreuzungen. Diese darfst du auch nur in einer Richtung durchfahren, wie den Zähler vom Loch zur Nase.	K: Der VL erläutert seine Instruktion, indem er mit einer Handbewegung den Verlauf einer Bahn andeutet.
Was muß nach der Aufgabenstellung zu Beginn der Rechnung in den Zählern stehen?	K: Nachdem der S. die Antwort gegeben hat, kann er die Zähler entsprechend einstellen.
Nun fang' 'mal an zu bauen!	K: Es können Fehler folgender Art auftauchen: D: S. baut ein unvollständiges Netz (z.B. wenn er nur die beiden Zähler miteinander verbindet).
Nun fahre 'mal durch und sieh, wie weit du kommst!	D: S. vergißt die "Einmündung", baut also einen geschlossenen Kreis.

1. Stunde-Blatt 2 - Konstruktion eines Programmwortes zur Addition und eines zur Subtraktion

Instruktion des Lehrers	Diagnose, Kommentar, Hilfen
Wo ist dein Eingang?	K: Nachdem der S. es gezeigt hat, baut der VL den Baustein "Einmündung" ein. D: S. fährt bei einem Zähler in einen Ausgang.
Das ist ein Ausgang. Du darfst nur vom Loch zur Nase fahren.	D: S. wählt Additionseingang bei Z_2.
Fahre einmal durch!	K: Wenn der S. das Netz so baut, daß die Gefahr besteht, die Bahn zu eng an dem Zähler entlang zu bauen, (d.h. die "Ausgangsnase" des Zählers würde eine "Gerade" behindern), soll der VL eine zusätzliche "Gerade" einbauen, damit die Bahn einen größeren Umkreis bekommt.
Überlege Dir noch einmal, wie wir die Aufgabe mit Stäbchen gelöst haben.	D: S. baut schon vom Ansatz her die Bahnen völlig falsch.
Wir wollen jetzt einmal versuchen, das Netz, das du eben gebaut hast, zu zeichnen.	K: Ein vorbereitetes Blatt, auf dem die 2 Zählbausteine vorgezeichnet sind, wird dem Schüler vorgelegt. K: Während der S. das Netz zeichnet, sollte das gebaute Netz nicht mehr sichtbar sein.
Zeichne die für den Programmablauf interessanten Punkte ein. Was passiert an diesen Stellen?	S. sagt: hier wird subtrahiert hier wird addiert
Um der RM deine Idee für die Rechnung 5+3=8 mitzuteilen, brauchen wir diese Zeichen, die die Befehle symbolisieren. Die Zähler werden bei der RM Register genannt. Die Befehle werden dann hintereinander geschrieben. Damit die RM weiß, in welchem Register subtrahiert oder addiert werden soll, schreiben wir als Index die Nummer des entsprechenden Registers daran. Wir sind mehrfach durch das Netz gefahren; das deuten wir durch das Klammerpaar auf. Wie oft sind wir durch das Netz gefahren?	gleichzeitig legt der VL die Symbole S und A neben die Zähler. Anschließend, während er nebenstehende Instruktionen gibt, legt er die Symbole von den Zählern weg, unten auf das Blatt, und zwar in folgender Reihenfolge: S_1 $S_2\ A_1$ $(\ S_2\ A_1)$ K: erwartete Schülerantwort: Bis Z_2 leer ist, oder bis hier 0 ist.
Als Index an die erste Klammer setzen wir die Nummer desjenigen Registers, das uns angibt, wie oft wir die Befehle wiederholen sollen.	$(_2\ S_2\ A_1)$
Wir haben jetzt also folgende Regeln für die Programmierung der RM:	K: VL zeigt dem S. ein Kärtchen, auf dem die Befehle der RM-Sprache erklärt sind.
Lies sie bitte einmal laut vor.	K: Der S. tippt das Programmwort selbst ein und der VL erläutert dabei die Tastatur. Beim Starten der RM wählt der VL "Zeit 3" damit der S. sehen kann, daß das Programm auch wirklich funktioniert
Wollen wir das Programm noch einmal mit anderen Zahlen testen?	K: Der VL läßt das Programm noch einmal mit einer anderen Registerbelegung laufen (wieder "Zeit 3"). Hierbei wird der S. aufgefordert, die Arbeitsweise der RM zu kommentieren. Wenn nötig, wird das Programm zwischendurch gestoppt.
Kannst du nun noch einmal wiederholen, wie wir die Additionsaufgabe gelöst haben?	

Instruktion des Lehrers	Diagnose, Kommentar, Hilfen
Kannst du dir schon vorstellen, welches die nächste Aufgabe sein wird? Also lautet jetzt die genaue Aufgabenstellung: 1.2K: Schreibe ein Programmwort für die Subtraktion für folgendes Beispiel: $\begin{array}{c\|c} R_1 & R_2 \\ \hline x_1 & x_2 \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c\|c} R_1 & R_2 \\ \hline x_1-x_2 & 0 \end{array}$	K: Die Aufgabe wird dem S. schriftlich vorgelegt. K: Die neue Schreibweise wird folgendermaßen vom VL erläutert: ...
... Diese Schreibweise bedeutet, daß vor der Rechnung die Register so belegt sind, wie links von dem Pfeil steht, also hier ist eine beliebige Zahl (x_1) in R_1 und eine beliebige Zahl (x_2) in R_2. Nach der Rechnung soll x_1-x_2 in R_1 sein und R_2 wird leer.	
Hast du nun schon eine Idee, wie du diese Aufgabe lösen kannst? Womit möchtest du anfangen?	K: Hier wird dem S. die Möglichkeit gegeben, selber zu entscheiden, auf welcher Stufe der Lösungsstrategie er beginnen möchte. Falls der S. keine Idee äußert (vielleicht ein reflektierender Typ) kann der VL auf das Kärtchen mit den Lösungsmöglichkeiten verweisen. Danach kann noch einmal gefragt werden: Womit möchtest du anfangen?

Instruktion des Lehrers	Diagnose, Kommentar, Hilfen
Wie willst du jetzt weitermachen?	K: Wenn ein S. auf einer anderen Ebene als der Programmwortebene den Algorithmus erfunden hat, sollte immer wieder gefragt werden ...

---

1. Stunde-Blatt 3 - Konstruktion eines Programmwortes zur Addition und eines zur Subtraktion

Instruktion des Lehrers	Diagnose, Kommentar, Hilfen
	D: Der S. vertauscht in der Klammer die Befehle, d.h. er liefert $({}_2S_1S_2)$ anstelle der geläufigen Lösung $({}_2S_2S_1)$. Da das Programm das Gewünschte liefert, kann der VL höchstens sagen:
Das Programm ist korrekt; aber du hast nicht genau das aufgeschrieben, was du mit den Stäbchen ausgeführt hast.	

Diagnose/Hilfe	Stäbchenform	Netzform	Programmwortform
D: Der S. liefert das Additionsprogramm als Ergebnis	Der Additionsalgorithmus wird durchgespielt	Das Additionsnetz wird gebaut	Der S. liefert $({}_2S_2A_1)$ oder $({}_1S_2A_2)$ als Ergebnis
1 Auf das erwünschte und gelieferte Endergebnis hinweisen:	Schau das Ergebnis an. Wieviel soll in R_1 stehen?	Fahre durch das RN und schau das Ergebnis an.	Lies dein PW laut vor. Was bewirkt das PW?
D: Verstoß gegen den Umgang mit dem Material:	S. nimmt in jedem Zähler drei Stäbchen gleichzeitig weg.	S. will zwei Ausgänge miteinander verbinden	S. vergißt zweite Klammer o.ä.
2 Erinnerung an die Spielregeln	Erinnere dich an die Spielregel. Stäbchen dürfen nur einzeln transportiert werden.	Denk' an die Spielregel: Man darf nur von unten nach oben, also vom Loch zur Nase fahren.	Denk an die RM-Sprache. Sehen auf das Kärtchen.
D: Der S. bricht den Algorithmus ab, wenn das passende Ergebnis erreicht ist.	S. nimmt zuerst die drei lila einzeln, dann die gelben Stäbchen einzeln weg.	S. zeichnet geschlossene Kreise um die Subtraktionseingänge der Zähler.	Der S. liefert als Ergebnis $S_2S_2S_2\ S_1S_1S_1$
3 Die RM weiß nicht, wann das gewünschte Ergebnis erreicht ist.	Du weißt, wieviel 3 Stäbchen sind. Aber die Maschine weiß nicht, wann sie drei Stäbchen weggenommen hat, wenn mehr dort liegen.	Wodurch wird angegeben, wie oft durch die Eingänge gefahren werden muß?	
D: Die Schleife wird vom falschen Register gesteuert.	S. nimmt zwar die Stäbchen einzeln. beginnt aber mit den gelben.	S. wählt beim Bauen des Netzes einen falschen Eingang	Der S. liefert als Ergebnis $({}_1S_1S_2)$
4 Der S. sollte erkennen, daß seine Lösung nicht $x_1 \dot{-} x_2$ sondern $x_2 \dot{-} x_1$ berechnet.	Stell dir vor, zu solltest 5-0 rechnen oder du darfst die Stäbchen im Register nicht zählen! Wieviele hast du in R_1 weggenommen?	Warum hast du 1 zu wenig in R_1 erhalten?	Erkläre dein Programmwort: Wo soll das Ergebnis stehen, wie oft werden die Befehle in der Klammer ausgeführt?

1. Stunde - Blatt 4 - Konstruktion eines Programmwortes zur Addition und eines zur Subtraktion

1.2k Extra	Diagnose/Hilfe	Stäbchenform	Netzform	Programmwortform
D:	Der gesuchte Algorithmus ist auf einem Niveau richtig erfunden. Die Übertragung auf ein anderes Niveau erfolgt fehlerhaft.	-----	Der gesuchte Algorithmus ist auf Stäbchenebene richtig erfunden. Die Übertragung auf Rechennetzebene ist fehlerhaft.	Der Algorithmus ist auf Stäbchen- bzw.Netzebene richtig erfunden. Die Übertragung auf die Programmwortebene ist jedoch fehlerhaft.
E1:	Der S. wird daran erinnert, was er auf dem 1. bzw. 2. Niveau gerade gemacht hat.	-----	Sag mir, wie du die Aufgabe mit Stäbchen gerade gelöst hast.	Sag mir,wie du die Aufgabe mit Stäbchen bzw. RN gelöst hast.
D:	Der S. hat Schwierigkeiten, das Problem direkt in N/8-Form zu lösen.	-----	Der S. löst das Problem auf Netzebene fehlerhaft.	Der S. hat Schwierigkeiten, das PW zu legen.
E2:	Dem S. wird angeboten,das Problem mit Stäbchen zu lösen.	-----	Möchtest du ausprobieren, die Aufgabe mit Stäbchen zu lösen?	Möchtest du ausprobieren, die Aufgabe mit Stäbchen zu lösen?
D:	Der S. löst die Aufgabe, ohne sie zu verstehen.	Der S. löst die Aufgabe fehlerhaft, weil er sie nicht verstanden hat.	Der S. weiß nicht, was er machen soll.	Der S. weiß nicht, was er machen soll.
E3:	VL erklärt ihm die Aufgabenstellung.	VL erklärt ihm, daß er einen Algorithmus für Subtraktion erfinden soll.	VL erklärt ihm, daß er ein RN zum Subtrahieren bauen/zeichnen soll.	Der VL erklärt ihm die Aufgabenstellung.
D:	Trotz einiger Hilfen weiß der S. die Lösung immer noch nicht.	s. links	s. links	s. links
E4:	VL und S. lösen die Aufgabe zusammen.	VL zeigt ihm, wie man die Aufgabe lösen soll.	s. links	VL erklärt ihm, wie man das PW legen soll.

2. Stunde - Blatt 1 - Aufgabe 2.1.K

Instruktion des Lehrers	Diagnose, Kommentare, Ziel der Kommentare
Aufgabe 2.1.K: Schreibe ein Programm, das den Inhalt von R_1 nach R_2 und R_3 transportiert. $\begin{array}{c\|c\|c}R_1 & R_2 & R_3\\ \hline x_1 & 0 & 0\end{array} \Rightarrow \begin{array}{c\|c\|c}R_1 & R_2 & R_3\\ \hline 0 & x_1 & x_1\end{array}$ Hast du verstanden, was du tun sollst?	D: Der S. ist durch die Spaltenschreibweise irritiert; er weiß nicht, was zu tun ist. K: Der VL soll die Aufgabenstellung wie folgt erklären: Vor der Rechnung ist $R_1 = x_1$ R_2 und R_3 sind leer. Nach der Rechnung ist R_1 leer, sowohl $R_2 = x_1$ als auch $R_3 = x_1$. Z: Jeder Schüler weiß, wie die Spaltenschreibweise zu verstehen ist.
Hast du eine Idee, wie du beginnen willst?	K: Diese Frage soll schweigende Schüler (evtl. reflektierende S.) ermutigen, erste, wenn auch unfertige Ideen zu äußern. Aus den zu erwartenden Äußerungen sollte auf die Repräsentationsebene geschlossen werden, auf der der S. beginnen möchte (denkt). Hier ist eine Verzweigungsmöglichkeit; da dem S. freigestellt ist, auf welcher Ebene er beginnen will.
Erinnere dich bitte an die letzte Stunde: Wir hatten eine Lösungsstrategie für Aufgaben dieser Art entwickelt. Wo möchtest du beginnen?	D: Der S. hat keine Idee, wie er beginnen soll. K: Kärtchen, auf dem die Lösungsmöglichkeiten notiert sind, in das Blickfeld des Schülers rücken. Z: Jeder S. sollte das gewünschte Material (Stäbchen, Folie mit Zählern, Kärtchen) bekommen und beginnen.
	K: Wenn ein S. auf Stäbchenebene beginnen möchte, sollte der VL darauf achten, daß das 4. Register des Kastens geschlossen werden muß.
Nun hast du die Aufgabe mit den Stäbchen (gut) gelöst. (... das Netz (gut) gezeichnet). Was möchtest du jetzt machen? Wenn die Variable den S. irritiert, soll ihm der VL ein Beispiel x=5 geben.	K: Wenn der S. den Algorithmus auf einem Repräsentationsniveau erfunden hat, sollte der VL ganz offen fragen:

Diagnose/Hilfe	Stäbchenform	Netzform	Programmwortform
D: Der S. erfindet einen Algorithmus, der nur für das Beispiel gültig ist.	D: Der S. legt in R_2 und (oder) R_3 5 Stäbchen von außen dazu, ohne die Stäbchen in R_1 zu verwenden.	D: Der S. zählt in beiden Zählern vorwärts, ohne die Schleife durch Z_1 zu steuern.	D: Der S. legt (A_2A_3) oder $A_2A_2A_2A_2A_2$ $A_3A_3A_3A_3A_3$ oder ähnlich
1 Hinweis darauf, daß der S. sein Wissen über das Ergebnis mit einbringt, oder: Verweis darauf, daß das Programm für beliebige Belegungen von R_1 funktionieren soll.	Warum hast du nach dem 5. Stäbchen aufgehört? Du weißt das wohl, aber die RM weiß nicht, wann in R_2 5 stehen.	Woher soll die RM später wissen, wie oft in den Registern vorwärtsgezählt werden soll?	Probier das Programm an der RM aus. Die RM weiß nicht, wann sie stoppen soll. oder: Dein PW gilt nur für dies eine Beispiel aber nicht für andere Zahlen.
D: Verstoß gegen den erlaubten Umgang mit dem Material.	D: Die technischen Hinweise der ersten Stunde, wie mit den Stäbchen hantiert werden darf, sind in Vergessenheit geraten. Dies kann sich darin äußern, daß entweder alle 5 Stäbchen auf einmal genommen werden, oder - da am Ende doppelt so viele benötigt werden - zwei auf einmal, jedoch in einen Zähler gelegt werden.	D: Die technischen Hinweise der ersten Stunde, wie Netze zu konstruieren sind, sind in Vergessenheit geraten, z.B. - Additions- u. Subtraktionseingang der Zählbausteine werden verwechselt - Ein- und Ausgänge der Bausteine werden verwechselt. - Ein- und Ausgang des Netzes werden nicht oder falsch markiert.	D: Die Elemente der Programmiersprache sind in Vergessenheit geraten.
2 Es wird an die entsprechenden "Spielregeln" erinnert.	Erinnere dich an die Spielregeln, die wir in der letzten Stunde für den Umgang mit den Stäbchen aufgestellt haben. Wie darf man die Stäbchen bewegen?	Erinnere dich an die Spielregeln, die wir in der letzten Stunde für den Umgang mit den Bausteinen aufgestellt haben:	Sieh dir noch einmal die Befehle für die RM an!

2. Stunde - Blatt 2 - Aufgabe 2.1.K:

	Diagnose/Hilfe	Stäbchenform	Netzform	Programmworform
D:	Der S. erkennt nicht, daß die Information verdoppelt werden muß, d.h. daß 3 Registerinhalte verändert werden müssen.	D: S. erkennt nicht, daß für ein weggenommenes Stäbchen zwei hingelegt werden müssen.	D: Der S. zeichnet ein Additionsnetz, benutzt nur 2 Zähler.	D: Der s. zählt nur in einem R vorwärts, z.B. $({}_1S_1A_2)$ oder $({}_1S_1A_3)$
3	Hinweis darauf, daß die Aufgabenstellung Veränderungen in 3 Registern erfordert.	Es ist auch erlaubt für ein Stäbchen, das du wegnimmst, an mehreren Stellen eins dazuzutun. (Hinweis auf das Kärtchen mit den Spielregeln)	Du hast nur 2 Zähler benutzt, aber wenn du dir die Aufgabenstellung ansiehst, brauchst du doch bestimmt 3.	Man darf auch mehr als 2 Befehle hintereinander schreiben.
D:	Der S. erkennt wohl, daß die Information verdoppelt werden muß, verteilt sie dann aber nicht auf 2 Register.	D: S. transportiert Stäbchen paarweise von einem Zähler in einen anderen oder legt für ein weggenommenes Stäbchen zwei in einen Zähler.	D: Vergleichbare Diagnose gibt es auf dieser Ebene nicht, der Umgang mit dem, dem S. zur Verfügung gestellten Material, erlaubt diesen Fehler auf der Netzebene nicht.	D: Der S. schreibt $({}_1S_1A_2A_2)$ oder $({}_1S_1A_3A_3)$ K: Hier ist zu vermuten, daß es sich um einen Flüchtigkeitsfehler handelt * Lies dir dein Programmwort noch einmal durch. Hast du das so gemeint? Sonst:
4	Hinweis auf die Ergebnisse in den R_2 und R_3	Deine Idee, 2 Stäbchen auf einmal zu nehmen ist gut; nur hast du sie in einen Zähler gelegt.	—	Deine Idee, zwei Additionsbefehle zu verwenden ist gut. Nur hast du zweimal in einem Register addiert.
D:	Lösung noch fehlerhaft	s. links	s. links	s. links
5	Der VL führt die Lösung vor.	Der VL führt die Lösung vor.	Der VL zeichnet	Der VL gibt das PW vor.
D:	Der S. hat den Algorithmus auf einem Niveau erfunden, aber die Übertragung auf ein anderes Niveau erfolgt fehlerhaft.		Der S. hat den Algorithmus mit Stäbchen richtig durchgeführt. Er überträgt ihn aber fehlerhaft auf die Netzebene.	Der S. hat den Algorithmus mit Stäbchen bzw. auf Netzebene richtig gelöst; die Übertragung auf PW-Ebene ist jedoch fehlerhaft.
6	Der S. wird daran erinnert, wie er das Problem in Stäbchen-/Netzform gelöst hat.		Sag mir, wie du die Aufgabe mit Stäbchen gelöst hast.	Sag mir, wie du das gerade mit Stäbchen bzw. RN gelöst hast.
H1E:	Der S. soll das Ergebnis nachprüfen und mit dem, was im Text steht, vergleichen.	Überprüfe das Ergebnis. Wieviele sollen in R_2 und R_3 stehen?		
D2E:	Der S. transportiert den Inhalt des R_1 nach R_2 und addiert dann in R_3 so viele wie in R_2.	Der S. transportiert die Stäbchen von R_1 nach R_2, bis R_1 leer ist und legt ebenso viele Stäbchen in R_3.		Der S. schreibt/legt: $({}_1S_1A_2)A_3A_3A_3A_3A_3$ oder ähnlich.
H2E:	Hinweis, daß es die RM nicht verstehen kann bzw. das man einen allgemeinen Algorithmus erfinden muß.	Die RM weiß das aber nicht. Wir sollen einen allgemeinen Algorithmus finden.		Wie soll man das PW legen, wenn die Zahl in R_1 sehr groß ist? Wir sollen einen Algorithmus herausfinden, der für alle Zahlen gilt.
D3E:	Hilfe Nr. 6 bringt ihn nicht dazu, die richtige Lösung zu finden.			Der S. legt das PW: $({}_1S_1A_{23})$
H3E:	VL gibt die passende Hilfe.			Das heißt, du addierst 1 in Register 23.
	VL: Nun wollen wir der Registermaschine das Programmwort eingeben und testen, ob die Maschine mit dem Programm das Richtige berechnet.	K: Hilfen bei der Bedienung der RM sind erlaubt, es sollten sogar die Funktionen einzelner Tasten (Korrekturtaste, u.ä.) erklärt werden. Maschine langsam rechnen lassen. Während des Laufs sollte der VL den S. animieren, die Arbeit der RM zu kommentieren.		

2. Stunde - Blatt 3 - Aufgabe 2.2.K:

Instruktion des VLs:	Diagnose, Kommentare, Ziel der Kommentare
Aufgabe 2.2.K: Schreibe zu folgendem Problem ein Programmwort für die RM: R_1 | R_2 | R_3 → R_1 | R_2 | R_3 o | x_2 | o → o | x_2 | x_2	K: Falls der S. nicht in der Lage ist, die Aufgabenstellung zu erklären, sollte der VL dies tun: Dies kann auch durch die entsprechende Spaltenschreibweise verdeutlicht werden.
Denk einmal an die Aufgabe, die du eben gelöst hast: Zu Beginn der Rechnung sind hier auch in einem Register x_2, am Ende der Rechnung sind in zwei Registern x_2.	D: Der S. äußert keine Idee, wie er beginnen will. Z: Der Zusammenhang zur Aufgabe 2.1.K soll deutlich werden.
Wir haben das Problem in zwei Teile zerlegt und für jedes Teilprogramm ein Programmwort geschrieben. In die RM kann man die beiden Teile direkt hintereinander - in eine Zeile - eingeben.	K: Da diese Aufgabe die erste ist, die zwei Schleifen verlangt, ist folgendes zu erwarten: D: Der S. schreibt oder legt beide Schleifen untereinander. K: Dies sollte nicht gewertet werden. K: Wenn die Variable den S. irritiert, gibt ihm der VL ein Beispiel x_2=5.

Diagnose/Hilfe	Stäbchenform	Netzform	Programmwortform
7 Es wird an die entsprechenden "Spielregeln" erinnert.	Erinnere dich an die Spielregeln, die wir in der letzten Stunde für den Umgang mit den Stäbchen aufgestellt haben. Wie darf man die Stäbchen bewegen?	Erinnere dich an die Spielregeln, die wir in der letzten Stunde für den Umgang mit den Bausteinen aufgestellt haben:	Sieh dir noch einmal die Befehle für die RM an!
D: Der S. erfindet einen Algorithmus, der nur für dieses Beispiel gültig ist.	D: Der S. legt 5 Stäbchen in R_3.	D: Der S. fährt 5 mal durch die Additionseingänge der Zähler evtl. durch jeden einzelnen oder beide hintereinander.	D: Der S. legt das Programmwort $A_3A_3A_3A_3A_3$
K: Dieses ist bisher der Fehler, der mit Abstand am häufigsten gemacht worden ist. 8 Deshalb die ausführliche Erläuterung des VL's.	Warum hast du nach dem 5. Stäbchen aufgehört? Du weißt das wohl, daß am Ende der Rechnung, in R_3 5 sein sollen. Aber später soll die RM die Rechnung ausführen. Du kannst mitzählen, aber die RM kann das nicht.	Warum hast du nach dem 5. Mal aufgehört? Du weißt, daß am Ende der Rechnung in R_3 5 sein sollen. Aber später soll die RM die Rechnung ausführen. Du kannst mitzählen, aber die RM kann das nicht.	Dein Programmwort gilt nur für das eine Beispiel. Du solltest aber ein Programm erfinden, das auch für andere Zahlen als für 5 gilt.
D: Der S. glaubt, der Inhalt von R_2 darf nicht verändert werden. K: Es soll ein kurzes Interview geführt werden, das die Diagnose erhärtet.	D: Der S. greift in R_2 nicht hinein oder er schiebt die Stäbchen in R_2 hin und her.	D.: Der S. fährt durch Zähler 2 nicht durch.	D: Im Programmwort fehlt der Befehl S_2.
9 Dem S. soll eine Aufteilung in 2 Schritte nahegelegt werden.	Du hast recht, zum Schluß muß der Inhalt von R_2 wohl 5 betragen, aber zwischendurch können die Stäbchen ruhig woanders liegen.	Du hast recht, zum Schluß muß der Inhalt von Zähler 2 wohl 5 betragen. Aber das bedeutet nicht, daß er zwischendurch auch immer 5 betragen muß.	Du hast recht, am Schluß muß R_2 wohl 5 sein; aber das heißt nicht, das während der ganzen Rechnung in R_2 5 sind.
D: Der S. erkennt nicht, daß noch ein Hilfsspeicher benötigt wird.	D: Es werden nur die Stäbchen in R_2 und R_3 benutzt.	D: Der S. fährt nur durch die Zähler 2 und 3.	D: Der S. legt nur Befehle für die Register 2 und 3.
K: Der Aufgabenzettel mit dem Tip wird vorgelegt. 10 Transfer des Programms 2.1.K, nur andere Register.	In folgender Weise kann man die Aufgabe in zwei Teilschritte zerlegen: R_1 | R_2 | R_3 | R_4 → R_1 | R_2 | R_3 | R_4 → R_1 | R_2 | R_3 | R_4 o | 5 | o | o → o | o | 5 | 5 → o | 5 | 5 | o		

2. Stunde - Blatt 4 - Aufgabe 2.2.K

Diagnose/Hilfe	Stäbchenform	Netzform	Programmwortform
D: Der S. kann das Kopierprogramm nicht lösen.	D: s. links	D: s. links	D: s. links
11 Der VL gibt die Lösung vor.	Der VL führt den Stäbchenalgorithmus durch.	Der VL zeichnet oder baut das Netz.	Der VL legt das gesuchte (Kopier-)Programmwort.
D: Der S. löst nur den ersten Teil.	D: Der S. hört nach der ersten Schleife auf.	D: Der S. zeichnet nur das Netz zur ersten Schleife.	D: Der S. legt nur das Programmwort zur ersten Schleife.
12 Der S. soll seine Lösung mit der Aufgabenstellung vergleichen.	Das ist gut, aber noch nicht die gesamte Lösung.	Das ist gut, aber noch nicht die gesamte Lösung. Du kannst noch einen zweiten Zettel bekommen.	Das ist gut, aber noch nicht die gesamte Lösung.
D: Der S. versucht, das Programm mit nur einer Schleife zu lösen.		D: Der S. zeichnet alle Befehle und nur eine Schleife.	D: Der S. schreibt alle Befehle in nur ein Klammerpaar.
13 Durch das Ausführen des Algorithmus soll der S. seinen Fehler erkennen.	Probier das einmal - bis zum Ende - aus.	Probier das einmal aus.	Erkläre dein Programmwort bitte einmal.
D: Der gesuchte Algorithmus ist auf einem Niveau richtig erfunden. Die Übertragung auf ein anderes Niveau erfolgt mit Fehlern.	—	D: Der Stäbchenalgorithmus wird falsch umgesetzt. D: Der VL sollte darauf achten, daß der S. den Eingang des Netzes an den unteren Zähler legt. Der obere Zähler soll für das Hilfsregister reserviert werden.	Der Algorithmus ist auf Stäbchen und/oder auf Netzebene richtig erfunden. Die Umsetzung in ein Programmwort ist fehlerhaft.
14 Methodische Hilfe: Der VL wiederholt noch einmal die vom S. gefundene Lösung; der S. entwickelt parallel dazu die Repräsentation auf einem anderen Niveau.	—	Wir können das (wie vorhin wieder) zu zweit machen, oder ähnlich.	Wir können das (wie vorhin wieder) zu zweit machen, oder ähnlich.
K: Dieser Fehler kann nur auf Netzebene auftreten und dann auch nur, wenn das Netz gezeichnet wird.	—	D: Die Verbindung der beiden Netze ist fehlerhaft.	—
15 Hinweis darauf, daß 2 Teillösungen, aber noch keine Gesamtlösung vorliegt.	—	Du bist noch nicht fertig. Du hast zwei Netze mit 2 Ein- und 2 Ausgängen gezeichnet. Verbinde die beiden Netze so zu einem Netz, daß das wiedergegeben wird, was du mit den Stäbchen gemacht hast.	—

VL: Nun wollen wir das fertige Programm in die RM eingeben und sehen, ob sie das Gewünschte berechnet.

K: Hilfestellung bei der Bedienung der RM ist wieder erlaubt. Wieder sollte der Lehrer den S. auffordern, den Lauf der RM zu kommentieren.

2. Stunde - Blatt 5 - Aufgabe 2.2.K / Extrahilfen

	Diagnose	Stäbchenform	Netzform	Programmwortform
D1E:	Der Schüler hat die falsche Vorstellung von der Aufgabe.	Der S. legt die Stäbchen in R_1 und R_3 und glaubt, daß er fertig ist.	Der S. baut ein RN wie bei 2.1k, in dem aber der Eingang bei R_2 liegt.	Der S. schreibt das PW: $({}_2S_2A_1A_3)$.
H1E:	Vergleiche das Ergebnis mit dem Endzustand im Text.	Wo muß nachher das Ergebnis stehen?	Wo muß dann das Ergebnis stehen?	In welchem Register steht das Ergebnis deines Programms?
D2E:	Der S. hat große Schwierigkeiten, die Aufgabe in N- oder P-Form zu lösen.		Der S. hat Schwierigkeiten, das RN direkt zu bauen oder zu zeichnen.	Der S. hat große Schwierigkeiten, das Programm direkt zu schreiben.
H2E:	Dem S. wird angeboten, die Aufgabe mit Stäbchen zu lösen.		VL schlägt vor, die Aufgabe mit Stäbchen zu lösen.	Willst du die Aufgabe zunächst mit Stäbchen lösen?
DE3:	Der S. weiß wohl das Ziel, hat aber keine Idee, das Programm zu legen.	Der S. nimmt die Stäbchen aus R_2 heraus und legt sie in R_3, bis R_2 leer ist. Dann legt er in R_2 die ursprüngliche Anzahl Stäbchen hinein.	Der S. will RN von R2- nach R3+, dann nach R2+ bauen.	Der S. weiß das Ziel, hat aber keine Idee, das Programm zu legen.
H3E:	Der S. wird daran erinnert, die gerade gelöste Aufgabe zu benutzen oder auch andere Register zu verwenden.	Versuche, die von dir gerade gelöste Aufgabe zu verwenden. Du darfst alle Register benutzen.	Wohin gehst du? Was passiert dann in R_2?	Du kannst nicht nur Register 2 und 3 benutzen.
DE4:	Der S. verwendet Verteilungsidee.	Der S. legt einige Stäbchen von R_2 nach R_3. Der Rest bleibt in R_2.		
E4:	Der S. wird aufgefordert, die Aufgabe zu erklären.	Sieh mal genau deine Aufgabe an. Erkläre zuerst, was sie bedeutet.		
D5E:	Der S. hat eine richtige Idee, zweifelt jedoch, die Idee zu realisieren.	Der S. äußert die Lösungsidee richtig, legt die Stäbchen aber falsch.	Der S. äußert die Lösungsidee richtig, kann sie aber nicht mit dem RN realisieren.	
H5E:	Der S. wird motiviert, eine Idee zu realisieren.	Deine Idee ist schon gut, aber du legst die Stäbchen falsch. Denk einmal nach.	Deine Idee ist richtig. Denk nach, wo du anfangen bzw. bauen sollst.	
D6E:	Der S. kann Tip 10 nicht verstehen.	Der S. tut nichts, weil er die Hilfe so noch nicht versteht.	Der S. baut das RN immer noch nicht, weil er den Tip so nicht versteht.	Der S. schreibt das PW nicht, weil er die Hilfe so nicht versteht.
H6E:	VL hilft dem S, den Tip zu verstehen.	Führe zuerst den 1. Teil aus.	Baue/Zeichne zuerst den 1. Teil.	Schreibe zuerst den 1. Teil.
D7E:	S. ist flüchtig/ungenau.	S. ist flüchtig.	Der S. ist flüchtig.	S. schreibt das PW ungenau.
H7E:	VL fordert ihn auf, die Lösung genau zu beschreiben.	Wiederhole noch einmal, aber genau.	Überprüfe das RN genau! Was fehlt noch?	Überprüfe das PW genau.

2. Stunde - Blatt 6 - Aufgabe 2.3.A

Instruktion des VL's:	Diagnose, Kommentare	Hilfen
Bisher hast du Programme für die RM geschrieben. Jetzt wollen wir einmal anders vorgehen. Ich gebe dir ein fertiges Programm, das die Maschine rechnen kann, und du sollst herausfinden, was die Maschine damit berechnet:		
Aufgabe 2.3.A:		
Stelle fest, was durch folgendes Programm berechnet wird:		
$A_2\ S_4\ A_1$.		
Überlege dir das zuerst an folgendem Beispiel:		
R_1 | R_2 | R_3 | R_4 → R_1 | R_2 | R_3 | R_4 2 | 3 | 0 | 4 → | | |	K: Durch die Spaltenschreibweise wird ein Rahmen aufgebaut, in den der S. die für ihn ungewohnte Aufgabe leichter einordnen kann.	
Wie sieht die Lösung allgemein aus?	Wenn die Tabellen richtig ausgefüllt sind, ist die Aufgabe gelöst.	
R_1 | R_2 | R_3 | R_4 → R_1 | R_2 | R_3 | R_4 x_1 | x_2 | 0 | x_4 → | | |	Für sequentielle S. ist es vielleicht vorteilhaft, auch eine analytische Aufgabe mit Stäbchen nachzuspielen. Dies kann der VL ihnen anbieten.	
	D: Die Analyse des Programmwortes durch den S. deutet auf falsche Vorstellung (=falscher Frame) hin.	16 Erklär mal genau, wie die Maschine das Programmwort abarbeitet.
	K: Der VL sollte versuchen, die falschen Vorstellungen der S. aufzudecken und abzuändern.	
	D: Der S. kennt die einzelnen Befehle nicht mehr.	17 Erläuterung der Befehle.
	D: Der S. führt die einzelnen Befehle nicht nur einmal aus, sondern sagt: Das Programm läuft solange, bis R_2 (oder R_4) leer ist.	18 Schreibt man Befehle einzeln hin, so führt die RM sie einmal aus. Dies macht sie immer nur einmal, unabhängig davon, wieviel in den Registern steht. Soll sie einen Befehl so oft ausführen, wie es ein Register angibt, dann muß man dies in Klammern schreiben.
	D: Der S. erkennt das Fehlen der Klammer und fragt nach.	19 In einem PW müssen keine Klammern stehen. Wenn im Programmwort Einzelbefehle stehen, so führt die RM sie einmal aus.
	K: Es ist zu erwarten, daß der S. Schwierigkeiten mit dem Begriff Variable haben wird. Eventuell ist bei Schülern der Klasse 7 der Begriff "Platzhalter" bekannt. Die Variablenschreibweise sollte im L-S-Gespräch entwickelt werden.	

2. Stunde - Aufgabe 2.4.A

Das hat ja gut geklappt. Als letzte Aufgabe für heute habe ich für dich noch eine von dieser Art:		
Aufgabe 2.4.A:		
Stelle fest, was durch folgendes Programm berechnet wird:		
$A_1 A_1\ A_1 ({}_4S_4A_1)$		
Überlege dir das zuerst an folgendem Beispiel:		
R_1 | R_2 | R_3 | R_4 ⇒ R_1 | R_2 | R_3 | R_4 5 | 0 | 0 | 2 ⇒ | | |		
Kannst du einmal erklären, wie das Programm arbeitet?	K: Erst wenn der S. so oder ähnlich formuliert: "Zuerst wird in R_1 dreimal einer addiert, und dann die Klammer dreimal ausgeführt, wobei jeweils in R_4 einer subtrahiert und in R_1 einer addiert wird", kann bei (*) fortgefahren werden.	

2. Stunde - Blatt 7 - Aufgabe 2.4.A

Instruktion des Lehrers	Diagnose, Kommentare	Hilfen
	D: Der S. kennt die einzelnen Befehle nicht mehr.	20 Erläuterung der Befehle A_1 und S_4.
	D: Die Verdreifachung des Befehls A_1 irritiert den S. oder er übergeht dies.	21 Wie oft wird in R_1 einer addiert?
	K: Der VL kann eventuell die Klammer abdecken und auf den Programmanfang deuten. Weiß der S. die Lösung nicht, so wird sie ihm vorgegeben.	
	D: Die Bedeutung der Klammer bzw. die Schleifensteuerung ist unklar.	22 Weißt du noch, was die Klammer bewirkt?
	K: Wenn der S. die Lösung nicht weiß, soll sie vom VL vorgegeben werden.	
	An dieser Stelle sollte jeder S. in der Lage sein, den Algorithmus zu erklären oder aber auf Stäbchenebene fehlerfrei auszuführen.	
(*) Hast du eine Idee, wie man das schreiben kann? Das ist richtig (oder falsch). Schreib die Zahl einmal hin. Wie bis du darauf gekommen?	K: Der S. nennt das richtige (oder falsche) Ergebnis.	
	K: Es sollte erreicht werden, daß 5 + 1 + 1 + 1 + 2 auf das Aufgabenblatt notiert wird. Bevor der S. aufgefordert wird, den Term mit Variablen zu schreiben, sollte noch ein zweites Zahlenbeispiel gerechnet werden. Dafür sollte <u>kein</u> neues Aufgabenblatt verwendet, sondern die Zahlen dem S. diktiert werden.	
	K: Der VL sollte erreichen, daß 5 + 1 + 1 + 1 + 2 und z.B. 12 + 1 + 1 + 1 + 6 untereinander auf dem Zettel stehen.	
	D: Der Schüler schreibt die Rechnungen von Register 1 und Register 4 in einem Term auf.	23 Schreibe auf, was in Register 1, dem Ergebnisregister, geschieht.
Jetzt hast du in zwei Beispielen ausgerechnet, was am Ende der Rechnung in R_1 steht. Jetzt wollen wir einmal versuchen, dies mit Variablen aufzuschreiben, so wie du das aus deinem Mathematikunterricht kennst. Hast du eine Idee?		
	D: Der S. nennt keine Variablen für die Register 1 und 4.	24 In welchem Register haben 5 bzw. 2 gestanden? Dafür können wir auch x_1 und x_4 schreiben.
	Z: Der S. schreibt x_1 + + x_4.	
	D: Der S. weiß nicht, wie er 1+1+4 formalisieren soll.	25 In welchem Register haben die drei Einsen gestanden?
	Z: Lösung: $x_1 + 1 + 1 + 1 + x_4$.	
	D: Der S. kann $({}_4S_4A_1)$ nicht in Variablenschreibweise umsetzen.	26 Wie oft wird in R_1 einer dazugezählt?
	K: Nach dem die Aufgabe gelöst worden ist, soll dem S. freigestellt werden, ob er das Programm mit den vorgegebenen oder selbstgewählten Zahlen an der RM überprüfen möchte.	

2. Stunde - Blatt 8 - Aufgabe 2.3.A, 2.4.A / Extrahilfen

2.3.A D1E: Schüler glaubt, daß Variable nur ein anderer Name für eine vorgegebene Zahl ist.

H1E: Schreib zuerst das obere Ergebnis als Term.

D2E: Schüler weiß nicht, was eine Variable ist bzw. er schreibt den Term nicht, weil er den Begriff "Variable" nicht versteht.

H2E: VL erklärt ihm, was eine Variable bzw. eine allgemeine Form einer Rechnung ist.

2.4.A D1E: Der Schüler schreibt nur das Ergebnis in die Spalten oder schreibt etwas falsches, z.B. 5+1=6+1=7+1, usw.

HoE: Du mußt einen Term schreiben! Das ist kein Term! Sieh die linke und rechte Seite an!

H1E: Wie erhältst du die Zahl? Wie führt die RM den 1. Teil aus?

D3E: Der Schüler weiß immer noch nicht, wie er den Term schreiben muß.

H3E: Der Versuchsleiter gibt die Lösung vor oder erklärt dem S. Schritt für Schritt, wie man den Term schreiben muß.

D4E: Der S.schreibt den allgemeinen Term mit Zahlen anstatt mit Variablen.

H1E: Du mußt den Term mit Variablen schreiben wie oben.

D5E: Der S. schreibt den Term ungenau.

H5E: Paß auf! Du mußt den Term genau aufschreiben. Erkläre, welches die Variablen in der Aufgabe sind.

D6E: S. weiß immer noch nicht, wie er den Term schreiben muß, da er den Term bzw. die Struktur des Problems noch immer nicht versteht.

6E: VL gibt dem S. die Lösung vor bzw. erklärt ihm Schritt für Schritt, was mit dem Term gemeint ist.

3. Stunde - Blatt 1 - Aufgabe 3.1.K

Instruktion des Lehrers	Diagnose/Kommentare
Aufgabe 3.1.K Schreibe ein Programm zum Verdoppeln: $\begin{array}{c\|c\|c} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline x_1 & 0 & 0 \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c\|c\|c} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline 0 & 2\cdot x_1 & 0 \end{array}$	
Erinnere dich bitte an die letzten beiden Stunden. Wir hatten verschiedene Lösungsmöglichkeiten für Aufgaben dieser Art entwickelt. Womit möchtest du beginnen?	D: Der S. hat keine Idee, wie er beginnen soll. K: VL weist auf das Kärtchen mit den Lösungsmöglichkeiten. Z: Jeder Schüler sollte beginnen. K: Wichtig ist jedoch, daß dem S. freigestellt wird, auf welcher Ebene er beginnen möchte. Wenn ein S. ein Netz bauen oder zeichnen will, soll man es ihn versuchen lassen. Kommt er an die Stelle, wo er einen Flip-Flop benötigt,
Deine Idee ist gut, aber um sie mit einem Netz zu realisieren, fehlt uns ein besonderer Baustein. Schreib deine Idee, so wie du sie bauen wolltest, doch als Programmwort auf.	K: Wenn der S. mit Variablen noch Schwierigkeiten hat, soll ihm der VL ein Beispiel x_1=4 geben.

Diagnose/Hilfe	Stäbchenform	Netzform	Programmwortform
D: Der S. verwendet das bekannte Additionsprogramm	D: Der S. transportiert den Inhalt aus Zähler 1 nach Zähler 2.	D: Der S. zeichnet (baut) das Additionsnetz	D: Der S. schreibt $({}_1S_1A_2)$
1 Vergleich der Lösung mit dem geforderten Ergebnis.	Was mußt du für jedes Stäbchen, daß du aus Zähler 1 wegnimmst, tun, wenn in Z_2 acht Stäbchen liegen sollen?	Wie ist der Zählerstand wenn du das Netz verläßt, (und wie sollte er sein?)	Wieviel sind in R_2, wenn die RM das Programm abgearbeitet hat?
D: Der S. liefert einen Algorithmus nur für dieses Beispiel.	D: Der S. legt (von außen) 4 Stäbchen in R_2 dazu.	D: Der S. versucht viermal nacheinander durch den Additionseingang in Zähler 2 zu fahren.	D: Der Schüler schreibt (oder legt) $A_2A_2A_2A_2A_2A_2A_2A_2$ oder $({}_1S_1A_2)A_2A_2A_2A_2$
2 Der S. soll erkennen, daß sein Ergebnis nur für x_1=4 gültig ist.	Du weißt, daß noch 4 Stäbchen dazu müssen, aber die RM weiß das nicht.	Wann muß man diese Schleife wieder verlassen?	Dein Programm ist richtig für dieses Beispiel. Du solltest aber ein Programm finden, das beliebige Zahlen in R_1 verdoppelt.
D: Der S. verstößt gegen die Spielregeln im Umgang mit dem Material oder hat die Spielregel vergessen.	D: Die Stäbchen werden nicht einzeln transportiert. o.ä.	D: Additions- u. Subtraktionseingänge werden verwechselt.	D: Der S. hat einen der Befehle der RM-Sprache vergessen.
3 Erinnern der "verletzten" oder vergessenen Spielregel.	s. links	s. links	s. links
D: Der S. liefert zwei Teillösungen.	—	D: Sch. baut zwei Netze mit zwei Ein- und Ausgängen.	—
4. Hinweis darauf, daß eine Gesamtlösung gesucht ist. K: Dieser Fehler kann nur auf Netzebene auftreten.	—	Das ist nicht die endgültige Lösung. Wir benötigen ein Netz mit einem Ein- und einem Ausgang.	—
D: Lösung noch immer fehlerhaft.	s. links	s. links	s. links
5. Der VL gibt die Lösung vor. Waren keine brauchbaren Ideen des Schülers erkennbar, soll er die kürzere Version $({}_1S_1A_2A_2)$ vorgeben.	Für jedes Stäbchen, daß du aus Zähler 1 wegnimmst, mußt du 2 Stäbchen in Zähler 2 legen.	s. Kommentar	Für jeden, der in R_1 subtrahiert wird, werden in R_2 zwei addiert.

3. Stunde - Blatt 2 - Aufgabe 3.1.K

Diagnose/Hilfe	Stäbchenform	Netzform	Programmwortform
D: s. Programmwortebene 6 K: Diesen Fehler läßt das Material auf Netzebene nicht zu, auf der Stäbchenebene ist er unwahrscheinlich	———	———	D: Der S. schreibt folgendes PW: $({}_1({}_1S_1A_2))$ oder ähnlic Gib das Programm in die RM ein! K: Es muß dem S. verdeutlicht werden, daß die äußere Klammer überflüssig ist, da R_1 bereits leer ist, nachdem die innere Klammer abgearbeitet ist. Dem S. muß klargemacht wer- den, daß die Wiederholung einer Abfrage, egal für welches Programm, überflüssig ist.
D: Der gesuchte Algorithmus ist auf einem Niveau richtig erfunden. Die Übertragung auf ein anderes Niveau erfolgt fehlerhaft. 7 Durch diese methodische Hilfe soll der Übergang von einem zum anderen Repräsentationsniveau erleichtert werden.		D: Der S. hat den Stäbchenalgorithmus richtig durchgeführt, möchte ihn auf Netzebene übertragen, macht aber dabei Fehler. Wir können uns die Arbeit teilen: Ich löse die Aufgabe noch einmal mit den Stäbchen und du baust (oder zeichnest) die passende Verbindung im Netz. K: Vorsicht! s. Kommentar S.1	Der S. hat PW mit Stäbchen richtig gelegt, kann aber se- ne Idee nicht in ein PW umsetzen. Du hast noch nicht genau aufgeschrieben, was du mit den Stäbchen gemacht hat!
Teste nun bitte, ob die RM mit diesem Programm auch wirklich das Richtige berechnet! Erkläre mir bitte noch einmal, was die Maschine im einzelnen macht!		K: Hilfen bei der Bedienung der RM sind erlaubt. Maschine langsam laufen lassen.	

Aufgabe 3.1.K - Extrahilfen

	Diagnose	Stäbchenform	Rechennetzform	Programmwortform
D1E:	Der S. konstruiert den Algorithmus nicht vollständig.		Der S. zeichnet das RN nicht vollständig.	
H1E:	VL schlägt ihm vor, das RN zu überprüfen.		Erkläre: Was passiert in den Registern, wenn du dein RN durchfährst?	
D2E:	Der S. legt das PW in eine Schleife, aber falsch, obwohl er Tip Nr. P7 erhalten hat.		Der S. legt das PW: $({}_1S_1A_2A_3A_2S_3S_1)$.	
H2E:	VL fragt den S. nach der Wirkung des Programmwortes. VL zeigt ihm den Fehler und fordert ihn auf, das PW zu korrigieren.		Was bewirkt dein Programm? Erkläre mir dein PW! Welche Befehle müssen wiederholt werden?	

3. Stunde - Blatt 3 - Aufgabe 3.2.A

<table>
<tr><th>Instruktion des Lehrers</th><th>Diagnose/Kommentare</th><th>Hilfen</th></tr>
<tr><td>Aufgabe 3.2.A:
Stelle fest, was durch folgendes Programm berechnet wird:
$({}_3S_3S_2)({}_2S_2A_1)$
Überlege dir das an folgendem Beispiel:
$\begin{array}{c|c|c} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline 6 & 7 & 4 \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c|c|c} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline \ & \ & \ \end{array}$</td><td>K: Die Aufgabe wird dem S. schriftlich vorgelegt.
Da die S. diesen Aufgabentypus bereits aus der 2. Stunde kennen, sollte sie ohne Kommentar vorgelegt werden.
Es wird erwartet, daß der S. die Ergebnisse in den Registern am Ende des Programms angibt.</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>D: Der S. hat keine Idee wie er an diese Aufgabe herangehen soll.
K: Hat der VL den Eindruck, der S. würde das Programm gern mit Stäbchen nachspielen, dann sollte er dem S. diese Möglichkeit einräumen.</td><td>8. Paß auf! Ich gebe dir einen Tip: Das PW besteht aus zwei Teilen. Überlege doch einmal, was mit dem ersten Teil berechnet wird.</td></tr>
<tr><td>Kannst Du mir (nun) erklären, wie dieses Programm arbeitet?</td><td>K: Es wird in etwa folgende Erklärung erwartet:
"Zuerst wird in R_3 und in R_2 einer subtrahiert, solange bis R_3 Null ist. Dann wird solange einer in R_2 subtrahiert und einer in R_1 addiert bis R_2 Null ist."
K: Der S. schreibt das "Ergebnis" auf, d.h. er füllt die Tabelle aus.</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>D: Die Analyse des PW durch den S. deutet auf einen falschen Frame hin.</td><td>9. Erklär mir genau, wie die Maschine das PW abarbeitet.</td></tr>
<tr><td></td><td>D: Aufgrund der Komplexität überblickt der S. das PW nicht.</td><td>1o. Schreibe zunächst auf, was die 1. Klammer bewirkt.</td></tr>
<tr><td></td><td>D: Der S. erkennt das Ergebnis der 1. Schleife nicht.</td><td>11. Der VL gibt $\begin{array}{c|c|c} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline 6 & 7-4 & 0 \end{array}$ vor
bzw. erarbeitet den Teilschritt im L-S-Gespräch.</td></tr>
<tr><td></td><td>D: Der S. glaubt, das wäre das Endergebnis.</td><td>12. Schreibe nun auf, was die zweite Klammer bewirkt:</td></tr>
<tr><td></td><td>D: Der S. erkennt das Ergebnis der 2. Schleife nicht.</td><td>13. Der VL gibt $\begin{array}{c|c|c} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline 6+7-4 & 0 & 0 \end{array}$ vor
bzw. erarbeitet den Teilschritt im L-S-Gespräch.</td></tr>
<tr><td>Hast du eine Idee, wie man das aufschreiben kann? Ich möchte als Ergebis von dir solch einen Term wie bei der entsprechenden Aufgabe der letzten Stunde.</td><td>D: Der S. schreibt für jede Klammer einen Term und erkennt nicht, daß er für die beiden Terme <u>einen</u> Term schreiben muß.</td><td>14. Es handelt sich hier um eine Kettenaufgabe! Du mußt aus diesen beiden Termen <u>einen</u> Term machen!</td></tr>
<tr><td></td><td>D: Der S. notiert gleich zu Anfang (oder er sagt):
9 = 6+3</td><td>15. Kannst du im einzelnen aufschreiben, wie du auf die 3 gekommen bist?</td></tr>
<tr><td>Wie sieht die Rechnung aus, wenn vorher z.B. $x_1=4$, $x_2 = 12$ und $x_3 = 5$?</td><td>K: Bevor der S. aufgefordert wird, den Term mit Variablen zu schreiben, sollte noch ein zweites vom VL frei zu wählendes Zahlenbeispiel gerechnet werden. Dafür wird <u>kein</u> neues Aufgabenblatt verwendet, sondern die Zahlen sollen dem S. diktiert werden.
Der VL sollte erreichen, daß
7 - 4 + 6 und
z.B. 12 - 5 + 4 untereinander auf dem Zettel stehen.
Möglicherweise muß eine der Hilfen 7-13 erneut gegeben werden.</td><td></td></tr>
</table>

Instruktion des Lehrers	Diagnose/ Kommentare	Hilfen
Es gibt beliebig viele Aufgaben, die wir mit diesem Programm berechnen können. Jetzt hast du an zwei Beispielen ausgerechnet, was am Ende der Rechnung in R_1 steht. Versuch einmal mit Variablen aufzuschreiben, wie das Ergebnis aussieht, wenn am Anfang der Rechnung in R_1 x_1-viele, in R_2 x_2-viele und in R_3 x_3-viele stehen.	D: Der S. kann die allgemeine Form nicht aufschreiben.	16. Überlege zunächst, was mit x_3, also dem Inhalt von R_3 zu Beginn der Rechnung passiert.
	D: Die Lösung ist immer noch nicht korrekt.	17. (VL gibt die Lösung vor.)
	K: Nach dem die Aufgabe gelöst worden ist, soll dem S. freigestellt werden, ob er das Programm mit den vorgegebenen oder selbstgewählten Zahlen an der RM überprüfen möchte.	

Aufgabe 3.2.A - Extrahilfen

D1E: Der S. schreibt das Ergebnis ungenau.

H1E: Rechne noch einmal, aber genau.

D2E: Der S. schreibt etwas als Term, aber mathematisch völlig falsch.

H2E: Das ist kein Term. Erinnere dich an die vorangegangene Aufgabe.

D3E: Der S. weiß nicht, was ein Term ist.

H3E: Du hast in der vorletzten Aufgabe einen Term geschrieben. Erinnerst du dich noch daran?

D4E: Der S. glaubt, daß das Programm aus zwei unabhängigen Programmen besteht.

H4E: Erkläre, wie die Registermaschine das Programm ausführt.

D5E: Der S. weiß das Ergebnis beider Programmteile, kann es aber nicht schreiben.

H5E: Welches Programm wird von der RM zunächst abgearbeitet? Wie sieht der entsprechende Term aus? Welches wird dann abgearbeitet? Wie sieht der Term aus?

D6E: Der S. weiß nicht, wie er den Term des 2. Beispiels schreiben soll.

H6E: Zeig mir, wie du den Term für das 1. Beispiel geschrieben hast. Sind sie analog oder nicht?

D7E: Der S. weiß immer noch nicht, wie er den Term für das 2. Beispiel schreiben muß.

H7E: VL erklärt es ihm Schritt für Schritt.

D8E: Der S. schreibt die allgemeine Form ungenau.

H8E: Du mußt den Term genau schreiben!

3. Stunde - Blatt 5 - Aufgabe 3.3.F.

Instruktion des Lehrers	Diagnosen/Kommentare	Hilfen
Aufgabe 3.3.F: Ich habe dir hier ein Netz mitgebracht, das ein S. für folgendes Problem gebaut hat: Am Anfang der Rechnung wird in Zähler 1 eine Zahl eingestellt, Zähler 2 und Zähler 3 bleiben 0. Am Ende der Rechnung soll in Zähler 3 das Doppelte der Zahl aus Zähler 1 stehen, Zähler 1 und Zähler 2 sind dann leer. Ärgerlich ist nur, daß dem S. ein Fehler unterlaufen ist: Das Netz leistet nicht genau das, was es soll. Deine Aufgabe ist es nun, den Fehler zu finden und zu korrigieren.		
	K: Es wird erwartet, daß der S. durch das Netz fahren wird. Es bietet sich an, mit 3 in Zähler 1 zu starten. (Startet man mit 1, so erscheint als Ergebnis 4 und der Schüler vermutet, das Netz liefert das Vierfache. Beim Start mit 2 in Zähler 1 erhält man als Ergebnis 6 und der S. vermutet, daß das Netz als Ergebnis das Dreifache liefert.) Wenn der S. andere Beispiele berechnen möchte, sollte der VL dies zulassen.	
Hast du den Fehler gefunden?	D: Der S. erkennt nicht, daß das Ergebnis um 2 zu hoch ist.	18. Der VL gibt vor, daß das Ergebnis immer um 2 zu hoch ist.
Wie kann man das Netz reparieren?	D: Der S. will den Ausgang des Netzes verlegen, und zwar bevor die letzte Runde durch die beiden Zähler gefahren wird.	19. Deine Idee ist naheliegend, aber falsc Ausgänge aus Netzen waren bisher immer Subtraktionsausgänge der Zähler gewese Das Netz hast du bisher immer verlasse wenn ein Zähler 0 war.
	D: Der S. durchfährt das Netz richtig, d.h. er fängt intuitiv an, unten durchzufahren. Er erkennt noch nicht, daß der falsche Eingang der Fehler ist.	20. Beginne beim Eingang.
	D: Der S. vermutet, es liegt an den Zählern, an der Verbindungsstrekken, oder ähnliches.	21. Stell ein und fahre durch bzw. (falls die Idee sehr abwegig ist): Nein, der Fehler liegt woanders, schau dir noch einmal genau an, wie das Netz funktioniert.
	D: Der S. hat die Idee des Algorithmus nicht verstanden und vermutet, es liegt an der Durchfahrt in Z_2.	22. Erläuterung der Funktion des Z_2 im Algorithmus ("Zwischenlager").
	D: Der S. hat nicht die richtige Idee.	23. Das Netz ist so konstruiert, da du einmal zu oft durch Z_2 und Z_3 fährst.
	D: Der S. hat weiterhin keine Idee.	24. Fahre durch das Netz. (Der VL stoppt, wenn die obere Schleife einmal durchlaufen worden ist, also bevor in Z_1 abgezogen worden ist.) Was ist jetzt geschehen?
	D: Der S. will im Ergebniszähler zum Schluß noch 2 subtrahieren. K: Da es sich um eine korrekte Lösungsmöglichkeit handelt, ist dieser Schülervorschlag nicht als "Fehler" zu werten.	H: Diese Lösung ist möglich, aber sehr au wendig zu bauen, da du dafür einen weiteren (Hilfs-)Zähler benötigst. Es gibt eine "naheliegende" Lösung, die keine zusätzlichen Bausteine benötigt.
	D: Der S. erkennt nicht, daß er den Eingang verlegen muß.	26. Vergleiche mit deiner Lösung des Verdopplungsproblems (z.B. mit Stäbchen nachspielen). Was hast Du zuerst getan? Was geschieht hier?
	D: Der S. versucht immer noch, eine falsche Stelle im Netz zu reparieren.	25. Der VL gibt den Fehler vor.

3. Stunde - Blatt 6 - Aufgabe 3.3.F: Einführung der Rechenschritte

Instruktion des Lehrers	Kommentare	Hilfen
Einführung der Rechenschritte:		
Da es nun unterschiedliche Möglichkeiten gibt, zu einem Problem ein PW zu schreiben, brauchen wir ein Maß, um entscheiden zu können, welches das bessere Programm ist. Solch ein Maß ist die Geschwindigkeit, in der das PW abgearbeitet wird. Dazu berechnen wir die Anzahl der Rechenschritte, welche die Maschine ausführen muß, bis sie das Ergebnis berechnet hat.		
Ein Rechenschritt ist für die Maschine jede Ausführung eines Befehls "S" oder "A" in einem beliebigen Register. Die Klammer - auf oder - zu ist kein Rechenschritt!	K: Dabei soll dem S. ein Kärtchen gezeigt werden auf dem steht, was als Rechenschritt bezeichnet wird.	
Du erinnerst dich doch noch an das Additionsprogramm der ersten Stunde! Schreibe es bitte einmal auf! $x_1=3$, $x_2=5$, das Ergebnis steht in R_2.	D: Der S. kennt das Additionsprogramm nicht mehr.	Der VL gibt das Additionsprogramm vor.
Wieviele Befehle hast du in diesem Programmwort?	S: Zwei!	
Wie oft wird die Klammer ausführt?	S: Dreimal!	
Warum dreimal?	S: Weil in R_1 3 eingegeben wurde! K: Der VL schreibt das Ergebnis, $RS= 3\cdot 2$, auf.	
Das heißt also, die Klammer wird sooft ausgeführt, bis Register 1 leer ist. Die RM benötigt also 6 Rechenschritte für dieses Programm.		
	K: Bevor der S. den Term mit Variablen notiert, soll der VL noch ein weiteres (freigewähltes) Zahlenbeispiel geben.	
Wieviele Rechenschritte brauchst du wenn z.B. $x_1=6$ und $x_2=8$?	Der VL sollte erreichen, daß z.B. $RS=2\cdot 3$ und $RS=2\cdot 6$ untereinander auf dem Zettel stehen.	
Du hast nun die RS für das Additionsprogramm anhand von 2 Beispielen bestimmt! Versuche dies nun einmal mit Variablen aufzuschreiben!	$RS = 2x_1$ sollte notiert werden.	
Allgemein:		
Man erhält die Rechenschritte, indem die Anzahl der Befehle in der Klammer mit dem Inhalt des Abfrageregisters multiplliziert werden. Gib das Programmwort nun in die RM ein! Bevor du die Maschine startest, muß ich dir noch etwas erklären! Du kannst nämlich die Rechenschritte von der RM mitzählen lassen. Dazu mußt du das neunte Register auf Rechenschritte umstellen. Hier steht auch nach der Rechnung die Anzahl der Rechenschritte. Starte nun die Maschine!	K: Der VL zeigt, wo die Maschine umgestellt wird, und wo nach der Rechnung die Rechenschritte abzulesen sind.	
Hast du verstanden, wie man Rechenschritte berechnet?	K: Falls der S. dies verneint, wird folgende Erklärung noch einmal vom VL erwartet: Was ist ein Rechenschritt, wie beberechnet man die Schrittzahlfunktion für ein PW, warum berechnet man überhaupt die Rechenschritte.	

3. Stunde - Blatt 7 - Aufgabe 3.3.F - Extrahilfen

D1E: Der S. versteht nicht, was seine Aufgabe ist.

H1E: VL erklärt dem S. die Aufgabe.

D2E: Der S. weiß, daß das Ergebnis 2 zu hoch ist, kennt aber nicht die Ursache.

H2E: Stelle R_1 auf Null ein und fahre durch das RN.

D3E: Trotz einiger Hilfen kennt der S. den Fehler immer noch nicht.

H3E: Erinnere dich an deine vorangegangene Aufgabe! Was hast du zuerst getan.

D4E: Der S. verstößt gegen die Regel mit dem Material.

H4E: VL gibt ihm Hinweis wegen der Regeln mit dem Material.

D5E: Der S. sagt, daß der Fehler in R_3 liegt.

H4E: Wo muß R_3 stehen? Denk mal nach!

D6E: Der S. glaubt, daß R_1 und R_2 vertauscht sind.

H5E: Du darfst sie wieder vertauschen. Erkläre, warum du sagst, daß sie vertauscht sind.

D7E: Nachdem Hilfe H6E gegeben ist, sagt der S., daß er zunächst in R_1 hineingehen muß, baut aber den RN trotzdem falsch um.

H7E: Stell die Register wie vorher ein und überlege!

D8E: Der S. löst die Aufgabe fehlerhaft.

H8E: VL erklärt ihm Schritt für Schritt, wie man den Fehler herausfindet und korrigiert.

4. Stunde Blatt 1 - Aufgabe 4.1.K

Instruktion des Lehrers	Diagnose, Kommentare	Hilfen
Aufgabe 4.1.K Schreibe zu folgendem Problem ein Programmwort für die RM: $\begin{array}{c\|c\|c} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline x_1 & x_2 & 0 \end{array} \rightarrow \begin{array}{c\|c\|c} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline 0 & 0 & 2\cdot x_1+2\cdot x_2 \end{array}$	K: Die verschiedenen Materialien (Stäbchen, Zählerzettel), die zur Lösung der Aufgabe benötigt werden könnten, sollten für den S. sichtbar bereitliegen, so daß er selbständig eine Auswahl treffen kann. Schüler, die ein Netz zeichnen wollen, sollten auf Folien Einzelschleifen zeichnen und dann die Ideen als Programmwort aufschreiben (vielleicht verwenden sie das Netz aus Aufgabe 3.3.F). Wenn der S. mit den Variablen Schwierigkeiten hat, gibt ihm der VL das Beispiel $x_1=4$, $x_2=5$.	
Hast du die Aufgabe verstanden? Erkläre noch einmal mit eigenen Worten, was du zu tun hast.	D: Der S. hat noch keine Idee für die Lösung der Aufgabe (egal auf welcher Ebene).	
	K: Wenn der S. nur 18 sagt, fragt ihn der VL:	1. Wie hast du das Ergebnis 18 berechnet?
	D: Es wird erkennbar, daß der S. noch nicht in der Lage ist, eine Lösung für das Gesamtproblem zu finden.	2. Versuche die Aufgabe in Teilaufgaben zu zerlegen.
	D: Der S. liefert falsche Lösung. Vermutung des VL: falscher Frame.	3. Der VL soll versuchen, die falschen Vorstellungen des Schülers zu korrigieren.
	D: Der S. kennt den Algorithmus zum Verdoppeln (aus der 3. Stunde) nicht mehr.	4. Der VL liefert den Algorithmus zum Verdoppeln.
	D: Der S. macht Fehler beim Verdoppeln.	5. Hilfen gemäß Aufgabe 3.1.K.

Diagnose/Hilfe	Stäbchenform	Netzform	Programmwortform
D: Der S. vergißt das Verdoppeln, er transportiert die Inhalte der Register 1 u. 2 in Register 3.	Der S. legt die Stäbchen aus den Registern 1 und 2 in das Register 3.	Der S. zeichnet ein Netz, das die Inhalte von Z_1 und Z_2 nach Z_2 transportiert.	Der S. schreibt $({}_1S_1A_3)({}_2S_2A_3)$
6 Der S. soll den fehlerhaften Algorithmus durchprobieren und sein Ergebnis mit dem gesuchten Ergebnis vergleichen.	Wieviele Stäbchen liegen am Ende der Rechnung in R_3?	Probier dein Netz einmal aus. Wieviel steht am Ende der Rechnung in Z_3?	Schaue dir noch einmal dein PW an. Was passiert da? Vergleiche es mit der Aufgabenstellung
D: Der S. versucht, das Problem mit einer Schleife zu lösen.	Der S. nimmt 1 Stäbchen von R_1 weg, tut 2 in R_3 dazu, nimmt 1 in R_2 weg, tut 2 in R_3 dazu, wiederholt solange, bis R_1 und R_2 Null sind.	Der S. zeichnet alle Befehle in eine Schleife.	Der S. schreibt alle Befehle in ein Klammerpaar.
7 Durch Ausführen oder Erklären seines Algorithmus soll der S. den Fehler erkennen.	Erkläre dein Vorgehen. Welches wird zuerst leer?	Probiere das einmal aus oder erkläre dein Netz.	Erkläre dein Programmwort
D: Der S. benutzt ein falsches Register, er verwendet das Programm zum Verdoppeln aus der letzten Stunde.	Der S. legt für jedes Stäbchen aus R_1 zwei Stäbchen in R_2 dazu.	-------------------	D: Der S. gibt als Lösung $({}_1S_1A_2A_2)$ oder ähnlich
8 Hinweis darauf, daß das 2. Register schon belegt ist.	Register 2 ist doch schon belegt.	-------------------	Das Register ist aber bereits belegt.
D: S. verliert bei dem komplexen Algorithmus den Überblick.	s. links	s. links	s. links
9 Der Vl empfiehlt, ein Spaltenprotokoll zu führen, um sich die einzelnen Teilergebnisse zu merken.	s. links	s. links	s. links

Diagnose/Hilfe	Stäbchenform	Netzform	Programmwortform
D: Der S. hat das Verdoppeln für beide Register gelöst. Er glaubt, er sei nun fertig.	D: Die doppelte Anzahl der Stäbchen aus R_1 liegt in R_3, die aus R_2 in R_4.		D: S. hat das Verdoppeln für beide Register folgendermaßen gelöst: $({}_1S_1A_3A_3)({}_2S_2A_4A_4)$
10. Hinweis darauf, daß er noch nicht fertig ist.	Du bist noch nicht fertig.	---------------	Du bist noch nicht fertig.
D: Der S. liefert noch kein brauchbares Ergebnis.	s. links	s. links	s. links
11. Der VL gibt die Lösung vor.	s. links	s. links	s. links
D: Die Übertragung des Algorithmus auf ein anderes Niveau ist fehlerhaft oder bereitet Schwierigkeiten.	——	D: Der Stäbchenalgorithmus wird falsch umgesetzt.	D: Der Algorithmus ist auf Stäbchenebene bzw. auf Netzebene richtig erfunden. Die Umsetzung in ein Programmwort ist fehlerhaft.
12. Der VL wiederholt noch einmal die vom S. gegebene Lösung; der S. entwickelt parallel dazu die Repräsentation auf einem anderen Niveau.	——	Wir können das zu zweit machen.	s.links

Instruktion des Lehrers	Diagnose/Kommentare	Hilfen
Gib bitte das Programmwort in die RM ein.	K: Bevor die RM gestartet wird, soll der S. im Kopf das Ergebnisregister ermitteln und berechnen, wieviel Rechenschritte die Maschine bei diesem PW mit den angegebenen Zahlen brauchen wird.	
Wieviele Rechenschritte braucht die RM?	D: Der S. hat keine Idee für die Berechnung.	13. Erinnere dich an die letzte Stunde: Sieh dir zunächst den ersten Teil des Programmwortes an. Wieviele Befehle stehen in der Klammer?
	Z: Der S. erinnert sich wieder an die letzte Stunde, in der die Theorie der RS eingeführt wurde.	
	D: Der S. will RS für alle Klammern durch eine Multiplikation aufschreiben.	14. Zerlege das Programmwort in Teilschritte.
	D: Der S. kann die Klammern bei den RS nicht umsetzen.	15. In der Klammer werden also drei Rechenschritte vollzogen. Aber du weißt ja, daß die Klammer mehrmals durchlaufen wird. Wonach richtet sich die Anzahl der Durchläufe?
	D: Der S. berücksichtigt bei der Berechnung der RS die aktuellen Registerinhalte nicht.	16. Was steht zu diesem Zeitpunkt in den Registern?
Nun kannst du also auch die Rechenschritte berechnen, die für die zweite (und dritte) Klammer benötigt werden.	D: Der S. schreibt: RS=3·4 3·5	17. Und wie sieht jetzt deine gesamte Lösung aus?
Wieviele RS führt die RM nun insgesamt aus?	D: Der S. hat immer noch Schwierigkeiten zu erkennen, daß die RS der einzelnen Teilprogramme aufsummiert werden.	18. Du weißt doch, die einzelnen Teilprogramme werden nacheinander ausgeführt. Das heißt dann doch: die RS werden addiert.
	Z: Lösung RS = 3·4 + 3·5	
	D: Der S. hat folgendes Programmwort gewählt: $({}_1S_2A_3A_3)({}_2S_2A_4A_4)({}_4S_4A_3)$ und notiert: $RS=3x_1+3x_2+2x_4$	
In dem Term für Rechenschritte sollen nur Variablen für die Register auftreten, die am Anfang der Rechnung belegt waren. Was können wir für x_4 auch schreiben?		

Instruktion des Lehrers	Diagnose, Kommentare	Hilfen
	D: Der S. hat folgendes Programmwort gewählt: $({}_1S_1A_3A_3)({}_2S_2A_4A_4)({}_4S_4A_3)$ und notiert: $RS = 3x_1+3x_2+2x_4$	
	D: Das Ergebnis ist immer noch falsch.	19. Der VL schreibt die Lösung auf.
	K: Wenn der S. den Term sofort mit Variablen geschrieben hat, sollen die RS aber doch noch an dem Beispiel $x_1 = 4$, $x_2 = 5$ berechnet werden, um diese Aufgabe mit der nächsten vergleichen zu können.	
Nun wollen wir kontrollieren, ob dein PW korrekt ist und ob wir die RS richtig berechnet haben. Was muß am Ende der Rechnung im Ergebnisregister R_3 stehen? Starte die RM	K: Während die RM bei "Zeit 3" läuft, wird der S. aufgefordert, den Ablauf zu kommentieren.	
Dein Programm soll ja auch für andere Eingabewerte funktionieren. Wie ist die Schrittzahl bei $x_1 = 7$ und $x_2 = 8$.	D: Der S. hat noch nicht die Gesetzmäßigkeit bei der Berechnung der RS erkannt.	20. Betrachte unser erstes Beispiel. Welche Zahlen beschreiben die Registerinhalte und welche stehen für die Befehlsfolge?
Kannst du den Term auch allgemein aufschreiben, so daß er die Rechenschritte berechnet, wenn in R_1 x_1-viele, in R_2 x_2-viele und in R_3 x_3-viele vor Beginn der Rechnung sind?	D: Der S. schafft die Verallgemeinerung nicht.	21. (Unter Hinweis darauf, welche Zahlen bei den Beispielen konstant bleiben, erarbeitet der VL Schritt für Schritt die allgemeine Gleichung für die RS.)

Aufgabe 4.2.K:

Schreibe nun zu folgendem Problem ein Programmwort für die RM:

$$\begin{array}{c|c|c} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline x_1 & x_2 & 0 \end{array} \rightarrow \begin{array}{c|c|c} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline 0 & 0 & 2\cdot(x_1+x_2) \end{array}$$

Instruktion des Lehrers	Diagnose, Kommentare	Hilfen
	K: Der S. erkennt $2x_1+2x_2=2(x_1+x_2)$	
Du hast recht, das gesuchte Programm bewirkt das gleiche wie das letzte. Aber ich möchte, daß du jetzt ein Programm schreibst, mit dem die RM genau so rechnet wie du.	S. sagt(?): Sie meinen also, es soll addiert werden, dann verdoppelt.	
	D: Der S. macht Fehler beim Verdoppeln.	22. Hilfen gemäß Aufg. 3.1.K.

Diagnose/Hilfe	Stäbchenform	Netzform	Programmwortform
D: Der S. versucht, das Problem mit einer Schleife zu lösen.	s. links	s. links	s. links
23. s. Aufgabe 4.1.K, Hilfe 7.	s. links	s. links	s. links
D: Der S. verliert den Überblick bei dem komplexen Algorithmus.	s. links	s. links	s. links
24. s. Aufgabe 4.1.K, Hilfe 9	s. links	s. links	s. links
D: Die Übertragung des Algorithmus auf ein anderes Niveau ist fehlerhaft oder bereitet Schwierigkeiten.	——	s. links	s. links
25. s. Aufg. 4.1.K, Hilfe 12	——	s. links	s. links

Instruktion des Lehrers	Diagnose/Kommentare	Hilfen
	D: Der S. erkennt nicht, daß er die Summe von x_1 und x_2 bilden muß.	27. Berechne zuerst folgenden Zwischenschritt: $\begin{array}{c\|c\|c} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline x_1 & x_2 & 0 \end{array} \rightarrow \begin{array}{c\|c\|c} R_1 & R_2 & R_3 \\ \hline 0 & x_1+x_2 & 0 \end{array}$
	D: falsche Lösung, VL vermutet: falscher Frame.	28. Der VL versucht, die falsche Vorstellung des S. zu korrigieren.
	D: Der S. erkennt nicht, daß er das Doppelte von x_1+x_2 bilden muß.	29. Du bist noch nicht fertig.
	D: Das Ergebnis steht im falschen Register.	30. In welchem Register soll das Ergebnis stehen?
	D: Der S. liefert trotz anfänglichen Hinweises die gleiche Lösung wie in 4.1.K.	31. Du sollst <u>zuerst</u> addieren.
	K: Wenn ein S. bisher noch nicht bemerkt hat, daß das Programm zu 4.2.K das gleiche berechnet wie das zu 4.1.K:	
Nun vergleiche einmal diese Aufgabe mit der vorangegangenen Aufgabe.	K: Der Aufgabenzettel mit 4.1.K wird dem S. nochmals vorgelegt. Es wird erwartet, daß der S. erkennt, daß es sich im Prinzip um dieselbe Aufgabe handelt, nur daß das Ergebnis in beiden Aufgaben unterschiedlich dargestellt ist. $2x_1 + 2x_2 = 2(x_1 + x_2)$.	
Du hast also erkannt, daß die verschiedenen Programmworte bei gleichen Eingabewerten das gleiche Ergebnis liefern. Welches ist das schnellere Programm?	D: Der S. antwortet nicht.	32. Woran konnten wir sehen, welches von zwei Programmen das schnellere ist?
Schreib' einmal die RS für das zweite Programm auf, und zwar mit den Eingabewerten $x_1=4$ und $x_2=5$.		
	D: Der S. hat keine Idee für die Berechnung der RS	33. Sieh dir zunächst den ersten Teil des PW an. Wieviele Befehle stehen in der Klammer?
	D: Der S. kann die Klammern bei den RS nicht umsetzen.	34. Wieviele RS macht die Maschine innerhalb der Klammer? Wie oft wird die Klammer durchlaufen?
	D: Der S. schreibt die RS für die Schleifen einzeln auf.	26. Wie sieht die Gesamtlösung aus?
	D: Der S. hat noch nicht die Gesetzmäßigkeit bei der Berechnung der RS erkannt.	35. Welche Zahlen beschreiben die Registerinhalte und welche stehen für die Befehlsfolge?
	D: Der S. schafft die Verallgemeinerung nicht.	36. Der VL erarbeitet mit dem S. den Term für die RS.
	D: Der S. berechnet zu $({}_1S_1A_2)({}_2S_2A_3A_3)$ die RS: $RS = 2 \cdot 4 + 3 \cdot 5 = 23$	37. Gib das PW in die RM ein und kontrolliere die Schrittzahl. Wo ist denn jetzt der Fehler?
	D: Der S. findet seinen Fehler nicht. K: Es wird als Antwort des S's erwartet: x_2.	38. Die RS der ersten Klammer hast du schon richtig berechnet. Aber wovon hängt die Anzahl der RS der zweiten Klammer ab?
	D: Der S. erkennt nicht das Problem. K: Der VL soll darauf achten, daß der Inhalt von R_2 als Summe der beiden Eingabewerte dargestellt wird: $RS = 2 \cdot 4 + 3 \cdot (4+5)$.	39. Was steht zu dem Zeitpunkt, an dem mit der Berechnung der zweiten Klammer begonnen wird, in R_2?

4. Stunde - Blatt 5 - Aufgaben 4.2.K - 4.3.A - 4.4.A

Instruktion des Lehrers	Diagnose/Kommentare	Hilfen
Kannst du jetzt die Formel angeben, nach der man die RS für dieses Programm ausrechnen kann?	K: Die Erarbeitung der allgemeinen Formel erfolgt wie bei der vorangegangenen Aufgabe.	
Welches Programm liefert uns denn jetzt schneller das Ergebnis?	K: Je nachdem welches PW der S. bei der ersten Aufgabe gewählt hat, werden nun Ergebnisse der RS-Berechnungen verglichen. Wenn der S. Schwierigkeiten haben sollte, die Terme richtig zu interpretieren, sollte der VL helfen.	
<u>Aufgaben 4.3.A-4.5.A</u> Gib eine Formel für die RS folgender Programme an:	K: Die nächsten drei Aufgaben stehen zwar auf demselben Zettel. Aber dem S. ist nur jeweils eine Aufgabe sichtbar, da der VL die übrigen durch einen Zettel verdeckt.	
<u>4.3.A:</u> $({}_2S_2A_3A_4S_4)$ Dabei ist R_2 belegt. (Der VL deutet auf die RM und sagt:) Das heißt, in R_2 steht eine Zahl. Die anderen Register sind leer.	K: Wenn der S. mit "R_2 ist belegt" nichts anzufangen weiß, dann ...	
	D: Der S. hat keine Idee für die Berechnung der RS.	40. Denke noch einmal an die vorherige Aufgabe. Womit hast du dort bei der Berechnung der RS begonnen?
	Z: Der S. zählt die Befehle innerhalb der Klammer.	
	D: Falsches Verfahren, VL vermutet: falscher Frame.	41. Der VL versucht, die falschen Vorstellungen des S. zu korrigieren.
	D: Der S. kann die Klammer nicht umsetzen.	42. Wieviele RS macht die Maschine innerhalb der Klammer? Wie oft wird die Klammer durchlaufen?
	D: Der S. kann die Formel nicht formal aufschreiben.	43. Welche Variablen haben wir für den Inhalt von R_2 benutzt?
	Z: Dem S. kommt der Formalismus wieder in Erinnerung.	
	K: Bei diesen Aufgaben sollte der VL darauf achten, daß der S. das Schrittzahlpolynom in eine Zeile schreibt, da der S. sonst leicht den Überblick (Zusammenhang) verliert.	
<u>Aufgabe 4.4.A:</u> $A_1({}_3S_3A_5)$ Dabei ist R_3 belegt.		
	D: Der S. glaubt, die Schrittzahl sei abhängig von x_1.	44. Wieviele RS macht die RM bei "A_1"? bzw. wie kommst du auf x_1?
	D: Der S. kennt die Bedeutung des Befehls A_1 nicht mehr.	45. VL erinnert an die Spielregel (Kärtchen).
	D: Der S. beginnt nicht zu schreiben, da ihn die Reihenfolge (zunächst ein einzelnes A_1) stört.	46. Beginne zunächst wie oben, nämlich mit dem Klammerausdruck.
	D: Der S. setzt den Befehl A_1 falsch um, aber nicht in Abhängigkeit von x_1) oder läßt ihn fort.	47. Beginne mit dem Klammerausdruck bzw. Wieviele RS macht die Maschine bei A_1?
	D: Der S. gibt zwar die Lösung richtig an, kann sie aber nicht aufschreiben.	48. Du siehst, daß das PW aus zwei Teilen besteht. Wieviele RS braucht die RM für jeden Teil? Da nun die RM beide Teile nacheinander berechnet, müssen also die RS jeweils addiert werden.
	D: Der S. weiß es immer noch nicht.	49. (Der VL gibt die Lösung vor.)

Aufgabe 4.5.A:

$({}_1S_1A_5({}_2S_2A_3A_4)({}_4S_4A_2))$

Dabei sind R_1 und R_2 belegt.

D: Der S. kann angesichts der Komplexität mit der Aufgabe nichts anfangen.

Z: Der S. beschreibt die umfassende Klammer und die einzelnen Programmteile.

50. Wenn wir die Formel für die RS aufschreiben wollen, brauchen wir zunächst einen groben Überblick, bevor wir die RS im einzelnen angeben können. Wie ist das PW aufgebaut? Erkläre einmal in großen Schritten.

D: Der S. hat keinen Überblick über die Teile des Programmwortes.

51. Innerhalb des äußeren Klammerpaares stehen noch 3 Programmteile: S_1A_5, $({}_2S_2A_3A_4)$ und $({}_4S_4A_2)$

D: Der Lösungsversuch des S's ist wesentlich falsch, d.h. der S. erkennt nicht die Struktur der doppelten Klammer.

52. (Der VL hält die äußere Klammer zu.) Laß die äußere Klammer erst einmal weg. Berechne zunächst die RS zu den inneren Programmteilen.

D: Der S. macht Fehler bei der Umsetzung der Einzelteile innerhalb der Klammer (nicht D. 54).

53. Hilfe analog den Hilfen zu Aufg. 4.3.A/4.4.A .

D: Der S. schreibt die RS zu $({}_4S_4A_2)$ in Abhängigkeit von x_4.

Wir haben gesagt, wir wollen eine Formel aufschreiben, in der stehen nur x_1,x_2 und einige Zahlen. Was meinst du denn jetzt mit x_4?

D: Der S. kann darauf nicht antworten, da er die Struktur des PW's nicht erkannt hat.

54. (Der VL erläutert dem S. kurz, daß durch den vorangegangenen Programmteil $({}_2S_2A_3A_4)$ der Inhalt von R_2, also x_2 nach R_4 transportiert wird.)

D: Der S. denkt nicht daran, die einzelnen Elemente zu addieren.

55. Was bedeutet die Hintereinanderführung von einzelnen Programmteilen bei der Berechnung der RS?

D: Der S. kann nun die große Klammer nicht in die RS-Schreibweise umsetzen.

56. Was wird durch die große Klammer bewirkt?

D: Der S. hat zwar wohl die Struktur des PW's erkannt, kann aber die RS nicht aufschreiben

57. Du mußt alles das, was in der Klammer steht (VL zeigt mit dem Finger auf das Polynom), mit x_1 multiplizieren.

D: Der S. kann trotz der Hilfen das Polynom nicht aufschreiben.

58. Der VL gibt die Lösung vor.

Aufgabe 4.6.F:

Das Programmwort

$({}_1S_1A_3A_3)({}_2S_2A_4A_4)({}_4S_4A_3)$ ist für folgendes Problem geschrieben:

R_1	R_2
x_1	x_2

$\Rightarrow$

R_1	R_2	R_3
0	0	$2x_1-2x_2$

Es ist jedoch falsch.

Deine Aufgabe ist es nun, den Fehler zu erkennen und es zu korrigieren.

K: Da die einzelnen Programmteile bekannt sind, erfordert die Aufgabe erstens eine Analyse, zweitens einen konstruktiven Teil.

D: Der S. analysiert richtig, er versucht dann, die Spaltenschreibweise in $2x_1+2x_2$ zu verändern.

59. Sieh Dir die Aufgabenstellung noch einmal genau an.

D: Der S. vermutet den Fehler an einer falschen Stellen.

60. Analysiere noch einmal, was das Programm /der Programmteil bewirkt.

D: Der S. hat Schwierigkeiten bei der Analyse des gegebenen Programmwortes.

61. Wie ist das Programmwort aufgebaut? Was bewirken die einzelnen Teile?

4. Stunde - Blatt 7 - Aufgabe 4.6.F

Instruktion des Lehrers	Diagnosen/Kommentare	Hilfen
	D: Der S. zeigt weiterhin keinen Überblick.	62. Notiere in einer Tabelle Schritt für Schritt, wie das Programm wirkt.
	Z: Der S. soll anhand folgender Tabelle die Wirkung des Programmes erfahren.	

R_1	R_2	R_3	R_4
x_1	x_2	0	0
0	x_2	$2 \cdot x_1$	0
0	0	$2 \cdot x_1$	$2 \cdot x_2$
0	0	$2 \cdot x_1 + 2 \cdot x_2$	0

Instruktion des Lehrers	Diagnosen/Kommentare	Hilfen
	D: S. scheitert bei der Analyse der einzelnen Programmteile	63. VL erarbeitet die Wirkung des Programmteils mit dem S.
	D: S. schreibt das Subtraktionsprogramm falsch auf oder kann es nicht aufschreiben.	64. VL erarbeitet mit dem S. das Subtraktionsprogramm.
	D: S. analysiert das PW korrekt, kann es jedoch nicht verbessern.	65. Wo könnte der Fehler passieren?
	D: Der S. kann das Subtraktionsprogramm nicht mehr notieren.	66. Der VL gibt das Programm vor.

4. Stunde - Blatt 8 - Aufgaben 4.1.K, 4.2.K - Extrahilfen

4.1.K	Diagnose	Stäbchenform	Rechennetzform	Programmwortform
D1E:	Der S. weiß, wie er das Problem lösen kann, hat aber Schwierigkeiten, dieses auf RN-Form zu verwirklichen.		Der S. äußert richtige Idee, weiß aber nicht, wie er die Idee auf RN verwirklichen kann.	
H1E:	VL motiviert den S, seine Idee auszuprobieren.		Deine Idee ist gut, probiere nun aus!	
D2E:	Der S. führt die Lösung für Aufgabe 4.2k aus.	Der S. transportiert zuerst den Inhalt des R_1 nach R_3 und R_4, dann von R_2 nach R_3 und R_4, erst dann transportiert er den Inhalt von R_4 nach R_3.		
H2E:	VL schlägt ihm vor, über die Aufgabe genau nachzudenken und zu analysieren.	Bevor du die letzte Runde durchführst: Was hast du als Ergebnis in R_3 und R_4 gehabt?		
D3E:	Der S. fängt an, in R_3 zu addieren, dann in R_1 zu subtrahieren.	Der S. legt die Stäbchen zuerst in R_3, dann nimmt er aus R_1 1 weg, wiederholt dies solange, bis R_1=0 ist.		
H3E:	Vergleichen des Ergebnisses mit dem, was in dem Text steht.	Sieh das Ergebnis an, vergleiche mit dem, was im Text steht.		
D4E:	Der S. versucht, die Aufgabe in einer Schleife zu lösen.		Der S. zeichnet das RN in einer Schleife: $({}_1S_1S_2A_3A_1A_2A_3)$	
H4E:	VL analysiert mit dem Schüler den Algorithmus.		VL analysiert mit dem Schüler das RN.	
D5E:	Der S. konstruiert einen sehr komplizierten Algorithmus, allerdings falsch.		Der S. zeichnet ein sehr kompliziertes RN, aber falsch.	
H5E:	VL analysiert mit dem S. den Algorithmus.		Laß uns deine Rechennetze analysieren (VL und S. analysieren das RN zusammen).	

4.2.K	Diagnose	Stäbchenform	Rechennetzform	Programmwortform
D1E:	Der S. transportiert den Inhalt des R_1 und R_2 nach R_3 und addiert dann in R_1 und R_3.	Der S. transportiert die Stäbchen von R_1 und R_2 nach R_3 und legt dann in R_1 und R_3 1 dazu.		
H1E:	VL erklärt ihm, daß die RM das Verfahren nicht kennt.	Denk nach! Ist dein Verfahren richtig oder falsch? Wie sollst du so eine Aufgabe lösen?		
D2E:	Der S. weiß, daß er x_1+x_2 zuerst lösen muß, aber er weiß nicht, wie er das organisieren muß.	Der S. hat eine richtige Idee, legt die Stäbchen aber falsch. Er nimmt 1 Stäbchen von R_1 und R_2 weg und tut 4 Stäbchen in R_3 dazu.		
H2E:	VL führt ihn Schritt für Schritt zur Lösung.	VL erklärt, warum das Verfahren falsch ist.		

4. Stunde - Blatt 9 - Aufgaben 4.1.1.A, 4.2.1.A, 4.3.A, 4.4.A, 4.5.A, 4.6.F - Extrahilfen

4.1.1.A

D1E: Der S. hat die Formel für RS vergessen oder verwechselt Anzahl der Befehle mit Anzahl der Rechenschritte.

H1E: Was ist der Unterschied zwischen Anzahl der Befehle und der Rechenschritte? Hast du alles vergessen? (VL zeigt ihm die Formulierung der RS.)

D2E: Der S. verwechselt elementare Operationen mit der Anzahl der Befehle in einer Klammer.

H2E: Wieviele Befehle gibt es in der 1. oder 2. Klammer? Was bedeutet S und A? Wieviele RS sind die Befehle S und A?

D3E: Der S. schreibt die RS ungenau.

H3E: Lies noch einmal deinen Term! Überprüfe die Rechnung.

D4E: Der S. weiß immer noch nicht, wie er die RS ausrechnen muß.

H4E: VL erklärt ihm Schritt für Schritt, wie man die RS rechnen muß.

4.2.1.A

D1E: Der S. hat die Formel der RS vergessen.

H2E: Erinnere dich an die gerade gelöste Aufgabe! Was ist RS?

D2E: Der S. schreibt den Term der RS nicht genau.

H2E: Paß auf! Prüfe noch, ob der Term genau richtig ist.

4.3.A (Es gibt keine Extra-Hilfe.)

4.4.A

D1E: Der S. ruft ein falsches Frame auf.

H1E: Wieviele Teile hat das Programm? Welches ist der 1. bzw. 2. Teil? Was bedeutet der 1. bzw. 2. Teil? Wieviele RS braucht der 1. bzw. 2. Teil? Was ist eigentlich deine Aufgabe?

4.5.A

D1E: Der S. kennt die benötigten RS für den 1. Teil

H1E: VL verdeckt das 2. und 3. Unterprogramm sowie die äußeren Klammern einschließlich Index. Erinnere dich an die frühere Aufgabe! Rechne nur die RS für den 1. Teil.

D2E: S. schreibt die RS: 2 (x_1*3+x_2*2)

H2E: VL verdeckt das 1. und 3. Unterprogramm und fordert den S. auf, die RS des 2. Teils zu berechnen.

D3E: Der S. schreibt die RS für den 3. Teil ($({}_4S_4Az)$) Null.

H3E: Wieviel steht nun in R_4, wenn das 1. und 2. Unterprogramm durchgeführt wird?

D4E: Der S. weiß die Bedeutung der beiden äußeren Klammern nicht. (Kann vor der nach der H52 gegeben werden)

H4E: VL verdeckt alle Unterprogramme und fordert den S. auf zu sagen, was die Klammer bedeutet. Welche werden wiederholt?

D5E: Der S. schreibt die RS: $7x_1$, $9x_1$ oder ähnlich.

H5E: Wie kommst du darauf? Wieviele RS hast du gerechnet für die Unterprogramme in den äußeren Klammern?

D6E: Der S. schreibt die RS ungenau.

H6E: Paß auf! Überlege dir, ob deine Schreibweise richtig ist.

4.6.F

D1E: Der S. kann das PW nicht analysieren ohne Verwendung der Stäbchen oder des Rechennetzes.

H1E: VL gibt ihm die Stäbchen oder das Rechennetz.

D2E: Der S. verwendet distributive Regeln und konstruiert den Algorithmus für $2(x_1-x_2)$.

H2E: Guck deine Aufgabe genau an! Gibt es Unterschiede zu dem, was du gemacht hast? Kannst du dein Vorgehen erklären?

D3E: Der S. weiß nicht mehr, was durch $({}_sS_2S_1)$ berechnet wird.

H3E: VL analysiert die Wirkung des Programms mit dem Schüler.

D4E: Der S. weiß den Unterschied zwischen dem vorgegebenen Programm und dem von ihm geschriebenen Programm nicht.

H4E: VL erarbeitet das PW mit dem Schüler gemeinsam.

3. REPRÄSENTATION: GESCHEHEN in N-FORM

3.1 DATEN über BARUS, LISTI, SRIAT

BARUS

Geschlecht:	männlich
Alter:	14J 1M
Sozialstatus:	Vater ist Dozent an staatl. Universität
Leistung im MU:	15. Rangplatz bei 44 Schülern
Leistung im Sagen-Test:	sehr gute Nacherzählung, interpretative Überschrift

Intelligenz-Leistung nach APM-Test: 39

Kognitives Tempo nach MFF-Test: R (nicht hervorragende Leistung)

Bei den k-Aufgaben liegt der Mittelwert der Zeit des Überlegens, bis BARUS anfängt, ein Netz zu bauen, mit 45 sec. unterhalb des Medians im Vergleich zu anderen Schülern

SNP-Typ-Einstieg: N
SNP-Typ-insgesamt: NP

Leistung k-Aufgabe:	Rang 1	3 Hilfen von 79 B-k-Hilfen
		1 Einstiegs-Hilfe 1 2.2 kN: E3
		2 Transfer-Hilfen 1 2.1 kP: P2
		1 3.1 kP: P3
Leistung a-Aufgabe:	Rang 5	16 Hilfen von 89 B-a-Hilfen
a-Funktion:	Rang 4.1	6 Hilfen von 31 B-a-Fkt.-Hilfen
		3 2.4a: H21/E0/H24
		3 3.2a: E1/H15/H16
a-Rechenschritte:	Rang 6.1	8 Hilfen von 34 B-a/RS-Hilfen
		2 4.2.1a: H38/H39
		2 4.4a : H44/E1
		4 4.5a : H52/H56/H51/E3
a-Fehler:	Rang 3.2	2 Hilfen von 24 B-a/F-Hilfen
		2 4.6F : H61/E1 (mit n-Form)

LISTI

Geschlecht: männlich
Alter: 14J 3M
Sozialstatus: Vater Dozent an Uni im FB Jura

Leistung im MU: oberer Durchschnitt (eigene Aussage)
Leistung im Sagen-Test: Inhaltsangabe in 2 Sätzen
Schriftsteller-Überschrift

Intelligenz-Leistung nach APM-Test: 31
Kognitives Tempo nach MFF-Test: R (kleinste Angabe durchschnittlich benötigter Antworten)

SNP-Typ-Einstieg: S
SNP-Typ-insgesamt: SP (4 SP, 2 SNP)

Leistung k-Aufgaben: Rang 3.1 9 Hilfen von 79 B-k-Hilfen
6 Einstiegs-Hilfen:
1 4.1 kS: S7
5 4.2 kS: S27/S30/E1
S24/S26
3 Transfer-Hilfen:
2 2.2 kN: N15/E5
1 1.2 kP: P2

Leistung a-Aufgaben: Rang 1.2 14 Hilfen von 89 B-a-Hilfen
a-Funktion: Rang 4.2 6 Hilfen von 31 B-a/Fkt.-Hilfen
2 2.3a: H18/E1
4 2.4a: E0/E2/H24/E5

a-Rechenschritte: Rang 1.2 6 Hilfen von 34 B-a/RS-Hilfen
2 4.4a: H44/H47
4 4.5a: H52/E1/H51/H56
(-2:H57/H58)
auf Anhieb:
$(/2*x_1+(/3*/x_2)+(/2*//x_2)$
a-Fehler: Rang 1.2 0 Hilfen von 24 B-a/F-Hilfen

SRIAT

Geschlecht: weiblich
Alter: 13J 7M
Sozialstatus: unbekannt

Leistung im MU: unbekannt
Leistung im Sagen-Test: Wiedergabe des Prozesses (Nachdem .., nachdem..., nachdem..)
Kann keine Überschrift angeben.

Intelligenz-Leistung nach APM-Test: 20
kognitives Tempo nach MMF-Test: I (stark impulsiv und durchschnittlich am meisten benötigte Antworten:2.79)

SNP-Typ-Einstieg: S (5S, 1P)
SNP-Typ-insgesamt: SNP (4SNP, 1SP, 1P)

Leistung k-Aufgaben:	Rang 3.2	9 Hilfen von 79 B-k-Hilfen			
		6 Einstiegs-Hilfen:			
		3	2.2	kS	S9/E3/S10
		2	4.1	kS	S7/S9
		1	4.2	kP	P30
		3 Transfer-Hilfen:			
		3	2.2	kN	E5/N14/N15
Leistung a-Aufgaben:	Rang 3.1	15 Hilfen von 89 B-k-Hilfen			
a-Funktion:	Rang 7.2	7 Hilfen von 31 B-a/Fkt.-Hilfen			
		1	2.3a		E1
		3	2.4a		E0/E1/H24 (-1 E0/E1)
		3	3.2a		E1/E5/E6
a-Rechenschritte:	Rang 6.2	8 Hilfen von 34 B-a/RS-Hilfen			
		2	4.4a		E1/H46
		6	4.5a		H52/E4/H51/E1/E2/E6
a-Fehler:	Rang 1.1	0 Hilfen von 24 B-a/F-Hilfen			
			4.6		F:(S*)

3.2 E R K L Ä R U N G der verwendeten N O T A T I O N

Repräsentation: Geschehen in N-Form - 1

1. Bausteine: B

1.1	G	Gerade
1.2	C	Kurve
1.2.1	Cr	Rechtskurve
1.2.2	Cl	Linkskurve
1.3	K	Kreuzung
1.4	E	Einmündung
1.4.1	Er	Einmündung von rechts
1.4.2	El	Einmündung von links
1.5	W	Weiche
1.6	F-F	Flip-Flop

2. Register: R

2.1	#	Variable für Nummer des Registers
2.2	R#-	Subtraktionsweg des Registers #
2.3	R#+	Additionsweg des Registers #
2.4	#+	Additionseingang des Registers #
2.5	#-	Subtraktionseingang des Registers #
2.6	#>	Additionsausgang des Registers #
2.7	#≠	Subtraktionsausgang des Registers #, falls R# ≠ 0 ist
2.8	#=	Subtraktionsausgang des Registers #, falls R# = 0 ist

3. Handlungen mit den Registern

3.1	R#-1	In Register # wird 1 subtrahiert
3.2	R#+1	In Register # wird 1 addiert
3.3	(RH=0)	Wiederhole, bis der Inhalt des Registers # Null ist
3.4	R#=i	Register # wird auf i∈{0,...9} gestellt
3.5	DR#	Das Fenster des Registers # wird verdeckt
3.6	D'R#	Der Deckel wird von Register # weggenommen

4. Handlungen mit den Bausteinen allgemein

4.1 Y	Variabel für Baustein/Register
4.2 (Y)	Schüler nimmt Baustein Y in die Hand
4.3 (Yi)	Schüler nimmt Baustein Y und versucht, diesen am Ort i einzusetzen
4.4 (Yi)h	Schüler versucht, Baustein Y am Ort i herauszunehmen
4.5 Yi	Schüler setzt Baustein Y am Ort i ein
4.6 Yi-j	Schüler setzt Baustein Y am Ort i bis j ein
4.7 Yih	Schüler nimmt Baustein Y am Ort i heraus
4.8 Yi-jh	Schüler nimmt Baustein Y am Ort i bis j heraus
4.9 :Yi	Baustein Y wird am Ort i herausgenommen und dort direkt wieder eingesetzt
4.10 Yi:jRi	Baustein Y am Ort i wird um $j \in N$ Einheiten in Richtung $Ri \in \{l,r,o,u\}$ (wobei l=links, r=rechts, o=oben, u=unten) verschoben
4.11 Yi:j1Ri1, j2Ri2	Baustein Y am Ort i wird um $j1 \in N$ Einheiten in Richtung $Ri1 \in \{l,r\}$ und $j2 \in N$ Einheiten in Richtung $Ri2 \in \{o,u\}$ verschoben
4.12 R#1:R#2	R#1 und R#2 werden vertauscht

5. Handlung der Schüler

	M	Schüler
5. 1	f	flüstern
5. 2	su	summen
5. 3	n	nachdenken
5. 4	b, b:x→y	bauen; bauen von x in Richtung y
5. 5	ab	abbauen
5. 6	p	planen
5. 7	k	kommentieren

5. 8	u	unsicher
5. 9	g:x	x(Text, Ort, Baustein, RN) angucken
5.10	z:x	auf x (Ort/Baustein) zeigen
5.11	st;st.x	stoppen; bei x (Ort/Baustein) stoppen
5.12	S	im Rechennetz wird mit Holzstift gefahren
5.13	S:x⟶ y	Das gebaute Rechennetz wird mit dem Holzstift von x nach y abgefahren
5.14	F:x⟶ y	Das gebaute Rechennetz wird mit dem Finger von x nach y abgefahren
5.15	P:x⟶ y	Weg von x nach y wird mit dem Finger geplant
5.16	t	Schüler testet das Rechennetz, in dem allein die Zahnräder der Registerbausteine bewegt werden

6. Handlung des Versuchsleiters

	V	Versuchsleiter
6.1	H	VL gibt dem Schüler Hilfe
6.2	I	VL gibt dem Schüler Instruktion
6.3	R(Z)	Brett und Bausteine werden dem Schüler gegeben, wobei Z=M heißt: Schüler steckt selbst die Registerbausteine Z=V heißt: VL hilft, die Registerbausteine zu stecken Z=B heißt: Registerbausteine bereits gesteckt auf dem Brett
6.4	V:T	Versuchsleiter führt Tätigkeit T aus, die nicht spezifisch für Versuchsleiter ist

7. Allgemeine Handlung

7.1	?	Frage wird gestellt
7.2	Ge	Gespräch/Dialog zwischen Versuchsleiter und Schüler
7.3	?(x)	Schüler fragt Versuchsleiter nach x

7.4	V:?(x)	Versuchsleiter fragt Schüler nach x
7.5	V:z(x)	Versuchsleiter zeigt Schüler x (Weg/Baustein)

8. Rechennetz

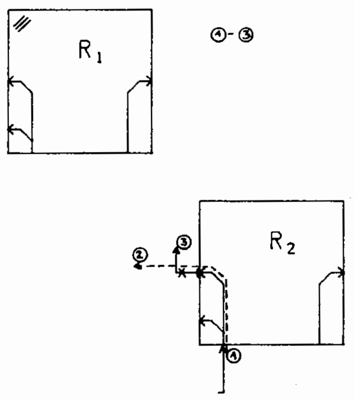
E	Eingang
A	Ausgang

9. $\neg, \wedge, \vee, \Rightarrow$ logische Verknüpfungen

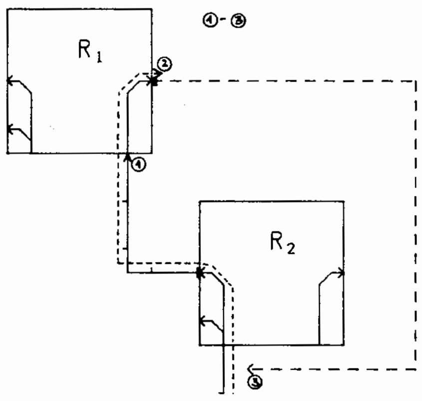
3.3 Darstellung einiger Schülerarbeiten in der N - F O R M anhand spezieller Zeichnungen einschließlich detaillierter Protokolle

3.3.1 Einstiegsaufgabe 1.1k - " A D D I T I O N

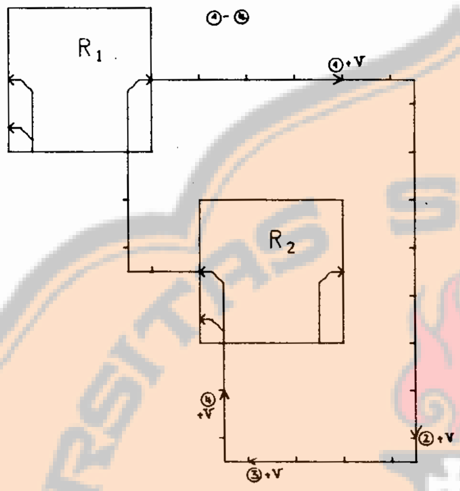
Barus 1.1k - 1 (Schritt 1-8)



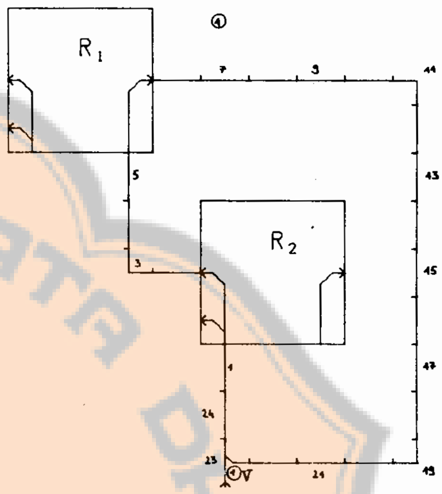
B 1.1k - 2 (Schritt 9-17)



B 1.1k - 3 (Schritt 18-40)



B 1.1k - 4 (Schritt 41-45)



Repräsentation: Geschehen in N-Form / Barus 1.1 - 1

Barus: Aufgabe 1.1K

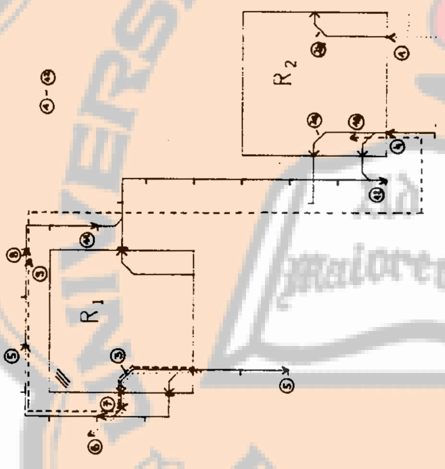
1	16.23-17.10	R(B), I, V:R1= 5 & DR1 & R2=3 & DR2	
2	17.10-17.36	Ge, n	
3	17.40-17.42	G1	
4	17.42-17.50	n, P:2-⟶ 2≠ ⟶3	
5	17.50-17.54	(C2)	
6	17.59-18.00	(E2)	
7	18.05-18.07	(C1 2)	
8	18.09-18.11	Cr2	

9	18.11-18.12	Cr2 h	
10	18.13-18.17	G2	
11	18.17-18.20	Cr3	
12-13	18.22-18.29	G4, G5	
14	18.29-18.43	n	
15	18.43-19.01	K ∧ s:2-⟶2≠ ⟶1+⟶1)	
16-17	19.01-19.12	V:? (Weg), F:1) ⟶11 ⟶17 ⟶2-	

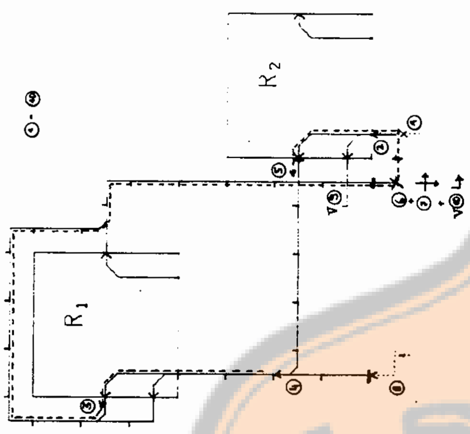
18-22	19.15-19.35	G6-9, (Cr10), I, V:Z (10)	Versuchsleiter hilft beim Repräsentieren der geplanten Wege mit den Bausteinen; insbesondere sorgt er vorab.dafür, daß bei der Umfahrt von R2 keine bautechnischen Probleme entstehen; außerdem hilft er an Stellen, wo Barus Probleme mit rechts und links bei den Kurven hat
23	19.35-19.38	G10	
24-31	19.42-20.14	Cr11, G12-18	
32-36	20.20-20.34	V: (Cr), Cr19, G20-22	
37	20.36-20.38	(C1)	
38	20.42-20.51	V:(Cr), Cr23, G24	

39	20.51-20.56	V:? (E) & M:z:Cr23	
40	20.59-21.04	V:Cr23 h & V: Er23	Versuchsleiter realisiert von Barus gezeigten Netzeingang
41	21.06-22.05	I, S:R2-1, R1+1 (R2=0)	
42	22.09-22.20	V:D´R2 & D´R1 & R2=3 & R1=5	
43	22.30-22.57	S:R2-1, R1+1 (R2=0)	

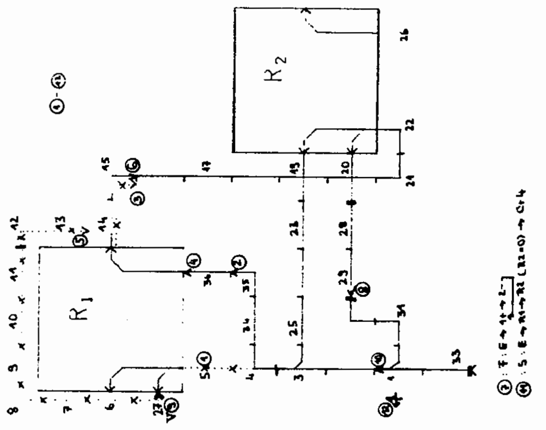
Isti 1.1k - 1 (Schritt 1-33)



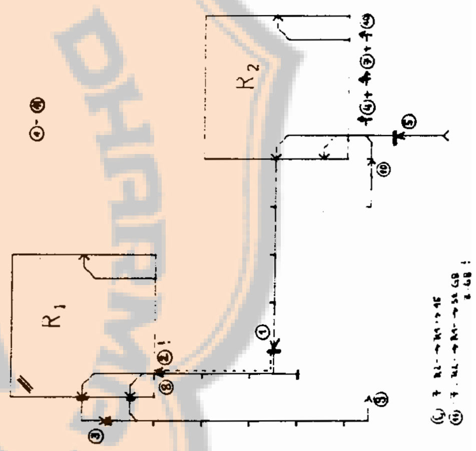
1.1k - 2 (Schritt 34-67)



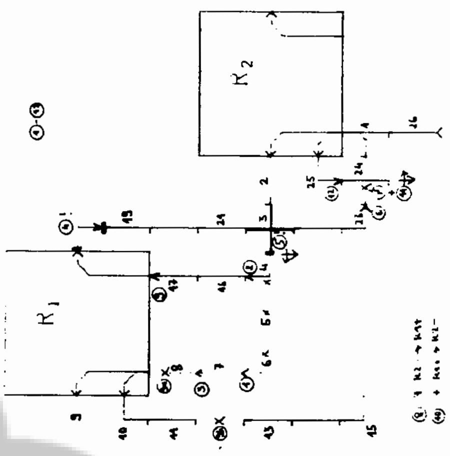
1.1k - 3 (Schritt 68-102)



1.1k - 4 (Schritt 103-138)
2. Versuch



1.1k - 5 (Schritt 139-159)



Repräsentation: Geschehen in N-Form / Listi - 1

Listi: Aufgabe 1.1K

1	17.45-18.33	R(B), V:R2=3 & DR2 / R1=5 & DR1, I	
2	18.39-18.47	(G)	
3	18.58-19.00	(Er 26)	
4	19.00-19.37	F:x→ y (nicht klar) & Z:R2- & R2+, R1-	Zunächst werden die Möglichkeiten der Zählerveränderungen getestet, anschließend die zu benutzenden Eingänge festgelegt.
5	19.38-19.44	G22	
6	19.47.19.49	G5	
7	19.53-19.54	G4	
8-9	20.04-20.12	Cr6 & (Cr)	
10	20.14-20.16	G7	
11	20.18	Cr8	
12	20.22-20.28	G9	
13	20.23-20.28	F:1-→1≠→ ...	
14	20.29-20.31	Cr6 h	Ausgang R1
15	20.33-20.37	Er6	wird nicht
16	20.40-20.41	Cr 27	offengelassen
17	20.42-20.44	G10	
18	20.45-20.55	G11	
19	20.55-20.58	(G)	
20	21.00-21.04	F:1-→1≠→G11 & P:1-→1≠→2-	
21	21.10-21.14	Cr12	
22	21.14-21.17	G13	
23	21.17-21.24	F:x→ y (nicht klar)	
24	21.26-21.41	(G14)	
25	21.44-21.50	El 14	Ausgang R1 wird nicht offengelassen
26	21.50-21.58	Cr15	
27	21.59-22.03	G16	
28	22.08-22.12	G17	

29	22.15-22.25	(Er)	
30	22.27-22.32	G18	
31	22.23-22.38	K19	vgl. Unterschied Er6
32	22.45-22.50	(G20)	Bis auf Additionsausgang R2 sind alle Ausgänge ins Netz aufgenommen; Ausgang des
33	22.50-23.00	El 20	Netzes bei R2= ist "zugebaut".

34	23.05-23.12	P:x ⟶ y (nicht klar) & G22 h
35	23.16-23.20	Cl 21
36	23.25-23.34	(C)
37	23.34-23.36	Cl 22
38	23.38-23.40	V:? (E)
39	23.40-23.44	V:D'R1 ∧ D'R2
40	23.45-23.46	S:1- ⟶ 1≠
41-44	00.03-00.15	G23-25, Cr3
45	00.17-00.18	Cr3 h
46	00.18-00.26	Er3
47	00.26-00.29	G2
48	00.33-00.35	V:R1=x1 & R2=x2
49	00.39-01.26	k & S:R1- ⟶ R2-
50	01.26-01.38	n
51	01.41-01.44	Cl 21 h
52	01.49-01.52	(G)
53	01.58-02.02	(E)
54	02.06-02.08	(K)
55	02.10-02.19	K21
56	02.23-02.24	Cr32
57	02.28-02.36	Cr32 h
58	02.44-02.46	El 20 h
59-60	02.48-03.28	:El 20, n
61	03.28-03.34	(K)
62	03.34-03.47	(G)

63-64	03.48-03.49	V:E20 h & K21 h	Versuchsleiter greift ein,
65	03.49-03.53	V:K20	korrigiert insbesondere
66	04.00-04.04	V:Z:21, Cl 21	Fehler aus Zeile 33: "Zubau
67	04.18-04.28	Ge	des Netzausganges"

68-69	04.31-04.35	G5 h, G4 h	
70	04.35-04.36	Cr4	
71	04.38-04.40	(E34)	
72	04.44	G34	
73	04.58	Cl 35	
74-75	05.00-05.04	E14 h & Cr15 h	
76	05.10	G36	
77-78	05.18-05.20	Cr12 h, G13 h	
79	05.21-05.23	G14	
80	05.24-05.25	Cr15	
81	05.26-05.28	F:E → 1+ → 2- →	
82	05.30	G28	
83	05.44	G29	
84-90	05.46-05.50	V:C8, G9-11h, G7h E6 h, Cr27 h	
91	05.47	Cl30	
92	05.56-06.03	Cr31	
93	06.04-06.07	(El 1)	Netzausgang wieder zugebaut;
94	06.08-06.12	(El)	immer noch fehlerhafter Netzeingang
95	06.17-06.18	Er1	wird deutlich markiert
96	06.22	G33	
97	06.28-06.40	M:R1=5 & R2=3	
98	06.42-07.10	S:R1+ → R2- (R2=0) & St. Cr4	
99	07.14	Er1 h	1. Fehler aufgehoben:
100	07.20-07.30	K1	Netzausgang hergestellt
101	07.35-07.40	M:R1=5 & R2=3	
102	07.44-08.23	S:R1+ → R2- (R2=0)	

Repräsentation: Geschehen in N-Form / Listi 1.1 - 4

103	-13.21	R(B)	**2. Versuch**
104-106	13.21-13.35	(2G) & P:2- → R1	
107	13.35-13.46	M:R2=x2	
108	13.46	G1	
109	13.49-13.57	M:R1=x2	
110-114	14.01-14.22	G2-5, (C)	
115	14.22-14.25	P:5→6 → 1-	Anfangsfehler wiederholt
116	14.35	(C)	
117	14.39-14.40	C1 9	
118	14.49	G1 h	
119	14.59-15.00	E1 1	
120	15.01-15.02	G26	
121	15.16-15.19	F:R2- → R1 → 15	
122	15.34	E1 1 h	
123	15.40	K1	
124	15.45	Er6	
125-126	15.48-15.53	G7-8	
127	16.01	(G)	
128-133	16.04-16.27	E1 10, G11-14, C1 15	
134	16.28-16.36	n	
135	16.38	K1 h	
136-137	16.40-16.42	K24, E1 1	
138	16.48-16.54	F:R2- → R1- → G8 ∧ Z: G8	Erinnerung
139-141	16.55-16.58	C1 6 h, G5-4 h	
142	17.01-17.02	Cr4	
143	17.07	G7 h	Reihenfolge beim Bauen
144	17.11	Cr18	erfolgt nach eher be-
145	17.12	G3 h	grifflichem Ansatz
146	17.16	K3	
147-151	17.17-17.36	G19-22, C1 23	

152-153	17.42	K24 h & F: R2- → R1+	
154	17.47	G8: 2r	
155	17.52	G12:3r	
156	17.55	F:R1+ → R2-	
157	18.01-18.03	K24	Ausgang außerhalb der Schleifen-acht gelegt: spielt für
158	18.07	Cr25	Algorithmus keine Rolle
159	18.08-18.30	S:R2- → R1+ (R2=0)	

Bemerkungen:

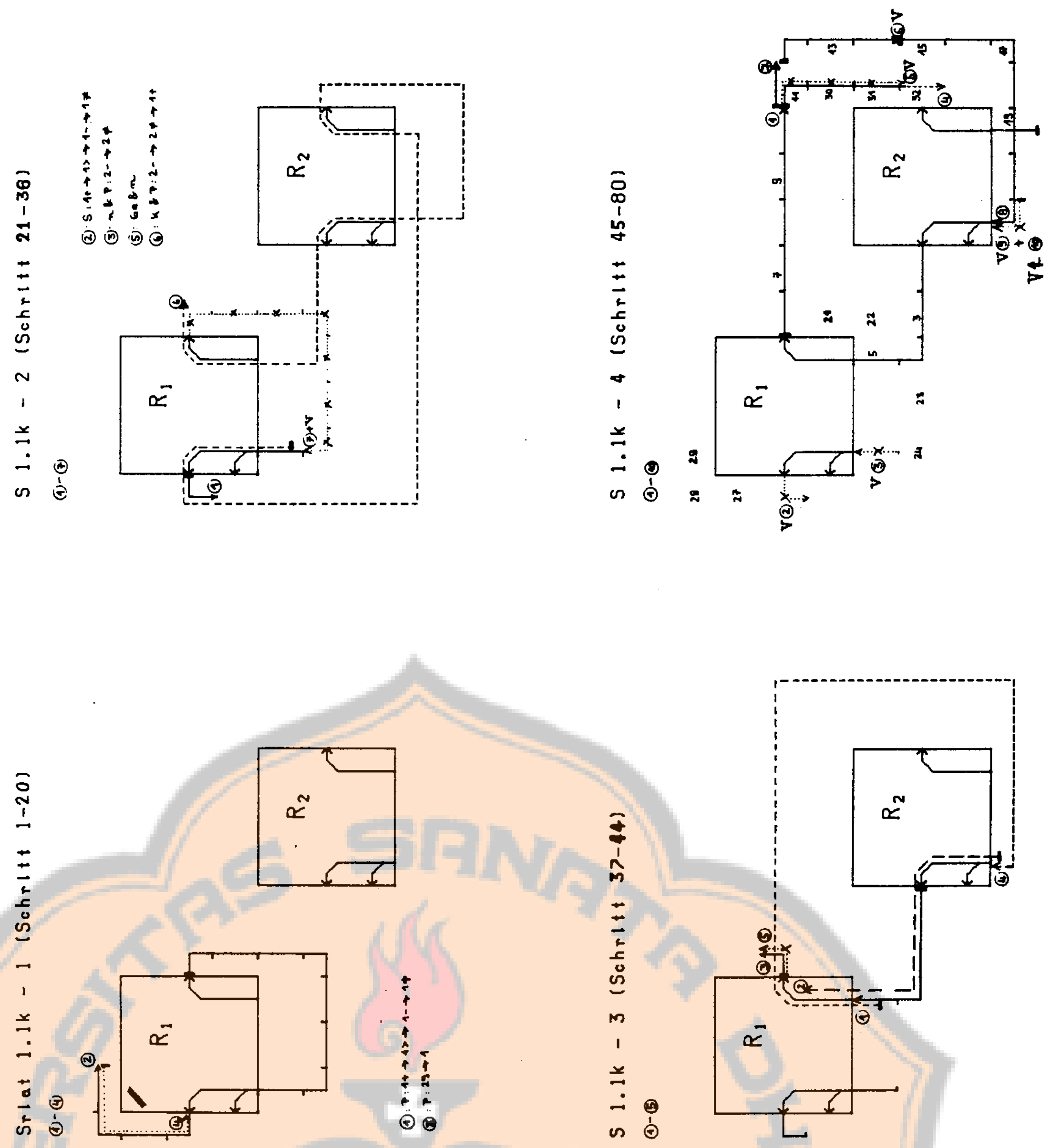
- Listi arbeitet gern mit komplizierten Bausteinen (Einmündungen, Kreuzung)

- Beim Bauen "trägt" er nicht Informationen weiter, sondern er überlegt sich zunächst statisch vorzunehmende Veränderungen in den Registern.

- Listi baut nicht benutzte Registerausgänge in das Netz ein.

- Der 2. Versuch (aufgrund eines Fehlers des VL notwendig geworden; er hatte den Schleifensteuerungsfehler in der 1. Lösung nicht bemerkt) zeigt, daß Listi der Gang der Handlung nicht deutlich geworden war.

- Listi hat als eher begrifflich / prädikativer Schüler in diesem "Neuland" auf Grund der ihm fehlenden Begriffe (die algorithmische Welt liegt sehr fern von dem, was er bislang kennt) zunächst größere Schwierigkeiten als ein eher funktionaler Schüler, der sich auf das neuartige, unbekannte Funktionieren einlassen kann und der sich in und mit den Wirkungsweisen Bedeutungen und Bedeutungsweisen erschließt.


Start 1.1k - 1 (Schritt 1-20)
S 1.1k - 2 (Schritt 21-30)
S 1.1k - 3 (Schritt 37-44)
S 1.1k - 4 (Schritt 45-80)
R1
R2

Repräsentation: Geschehen in N-Form / Sriat 1.1 - 1

Sriat: Aufgabe 1.1k

1	11.45-12.15	R(B),V:R2=3 & DR2 & R1=5 & DR1	
2	12.18-12.41	I	
3	12.41-12.57	P:1+ → 1> → 1- → 1≠	
4	13.04	C6	
5	13.13	G21	
6	13.24	G22	
7	13.46	C3	- impulsiv,
8- 9	13.47-13.55	G4,G23	- fortlaufend gebaut
10	14.00	C24	- Sinn im Gebauten nicht erkennbar
11	14.07	G25	
12	14.13-14.16	Cr26	- Vorwärtszählen in R1 stimmt
13	14.20-14.25	G27	
14	14.33	C28	
15	14.45	G29	
16	14.50-14.54	P:29 1	
17-20	14.54-15.05	G29h,C28h,G27h,G26h	Weg verkürzt

21	15.10	C126	
22	15.10-15.20	S:1+ → 1> → 1- → 1≠	Test führt zum Nachdenken
23	15.20-17.09	n & P:2- → 2≠	
24	17.09-17.23	P:1≠ → 2+ → 2> → 2- → 2≠ → 1+ → 1>	
25-26	17.27-18.18	Ge	
27	18.18-19.33	n	
28	19.33-19.40	k & P:2- → 2≠ → 1+	
29-35	19.40-19.54	V & M:C16h, G21-22h, Cr3h, G4h, G23h, C24h	Benutzung des Additionseingangs in R1 abgebaut
36	19.54-20.14	n	

37-40	20.14-20.27	G2-3,Cr4,G5	

41	20.28-21.04	n & F:2- → 2≠ → 1+
42	21.04-21.05	Cl 6
43	21.06-21.12	F:1+ → 12 → 2-
44	21.14	Cl 6h

45-49	21.19-21.40	G6-10
50-51	21.41-21.44	V:C26h,G25h
52-54	22.00-22.22	Cr11,G30-31
55	22.23	(G32)
56	22.23-22.36	I
57	22.36-	V:C11:1r
58	bis	V:G30:1r
59	22.39	V:G31:1r
60	22.40-22.42	G11
61-65	22.46-23.31	G15-16,C17,G18,K19
66	23.32-23.34	G20
67	23.38	Cr1
68	23.42	V:? (E)
69	23.48	V:Cr1h
70-71	23.56-00.05	V: (Er), Er1
72	00.05-00.25	Ge
73	00.25-00.40	n
74	00.40-01.02	S:2- → 2≠ → 1+ → 1> → 2 → 2≠ → 1+ → 2>0, st
75	01.07-01.08	V:? (K19)
76	01.08-01.33	n
77	01.34-01.45	I,K19h
78	01.49-01.52	G19
79	01.57-02.09	I & V:D'R2 & D'R1 & R2=3 & R1=5
80	02.18-02.43	S:2- → 2≠ → R1+ → R2 (R2=0)

3.3.2 Aufgabe 2.2k - " K O P I E R E N "

Repräsentation: Geschehen in N-Form / Barus 2.2 - 1

Barus: Aufgabe 2.2k

1	-14.11	R(B)	
2	14.11-14.49	f, n, p	
3	14.49-15.00	n	
4	15.00-15.02	M: R2=x2	
5	15.07-15.08	G1	wird zusammen mit R2 versetzt werden, s. Zeile 9-10
6	15.13	P: 2≠⟶ R3	Weg auf dem Brett wird gesichtet
7	15.20-15.24	R3:1o	Standort von R3 und R2 wird in Weg einbezogen und dafür günstig gewählt; Barus plant in Wegen,
8	15.24-15.33	n	Transport von Information Informationsfluß
9-10	15.33-15.43	G1:1u & R2:1u	
11	15.43-15.52	P:2-⟶2≠⟶R3⟶R2, f	Vergewisserung des Weges
12	15.52-16.00	n, P	
13	16.00-16.12	(B)	
14-22	16.12-16.48	Cr2, G3, Cr4, G5-10	
23	16.52-16.55	V:R2=x2 ∧ DR2	
24-26	16.59-17.06	b:G11-12, C1 13	Transport von R2 nach R3 ist geregelt
27	17.06-17.13	n	
28-42	17.13-18.09	b:3)⟶1- :Cr14, G15-22, Cr23, G58, G24, G25, G64, Cr45	Fehler: R1 "benutzt", s. Zeile 63!
43	18.09-18.14	n, p	
44-45	18.15-18.18	C67 & C67 h	
46-50	18.21-18.32	b:G67-69, Cr70, G66	
51	18.32-18.59	n, f, F:2-⟶2≠⟶G5	
52	18.59-19.30	n, f	
53-54	19.30-21.10	(W) er probiert lange die Weiche in der Hand aus, f, g: RN, z:R2	

55	21.12-21.14	Cl 36	
56	21.14-22.20	n, f, g:RN	
57	22.20-22.29	F:2- ⟶ 2= ⟶ G5	
58	22.29-22.42	kein Videofilm	
59	22.42-23.19	n, g:W	
60	23.19-01.07	F: RN & Z:R2	
61	01.07-01.32	"Aduh", f. Scheint Idee gefunden zu haben.	
62	01.35-01.50	VL.: "Deine Idee?" Barus: "Eh, wenn man in R2 hineingeht, wird in R2 subtrahiert, aber in R3 addiert, bis R2 Null zeigt. Nachdem R2 Null ist, wird dann in R2 addiert, bis das Gleiche wie vorher."	
63	01.50-02.41	VL.: (HE3("Ja, wie weiß die RM, wann sie aufhören muß? Denk dir einen anderen Weg aus!" Barus: "Darf man R1 benutzen?"	

64	02.41-03.00	n, f	
65-69	03.00-03.07	ab: G67-69 h, C70 h, G66 h	Nun ist Barus auf dem richtigen Weg zur Lösung. Die notwendigen Maßnahmen zur geeigneten Verwendung von R1 werden getroffen.
70	03.08	Cr 67	
71	03.09-03.34	n	
72-73	03.34	ab: M: (G25, G24) h, V:G25 h, G24 h	

74-76	03.47-03.55	Cr67 h, Cr25, G24	Über die Verwendung des Additions- und Subtraktionseingangs von R1 wird gleichzeitig nachgedacht: a) Funktion des R1+ Weges b) Funktion des R1- Weges für den Informationsprozeß
77	03.55-04.18	n, f	
78-81	04.18-04.35	G37-39, Cl 40	
82	04.35-04.43	P:1- ⟶ 1≠ ⟶ R2 ⟶ R3	

83-86	04.44-05.08	b: G46-47, G65, (E66)	
87	05.08-05.30	(K66)	Die Reihenfolge des Einbaus von R1 zeichnet Barus als erstklassigen funktionalen Schüler aus. Hier wird jene Regelung in Angriff genommen, dort ist dieses zu erreichen für den Prozeß...
88	05.33	(E66)	
89-90	05.33-05.43	(E), V:(E)	
91	05.47	E66	
92	05.47-06.08	n, f	
93-94	06.09-06.15	ab: Cr45 h, G64 h	
95-96	06.15-06.23	b: G41-42	

Repräsentation: Geschehen in N-Form / Barus 2.2 - 3

97	06.23-06.35	F: RN: R1+ → R2
98-100	06.40-06.50	C1 45, G44, G43
101-107	06.54-07.21	C1 26, G27, C28, G29-31, C1 32
108-109	07.37-07.39	Cr33, G1 h
110	07.39-07.49	G34
111	07.49-08.04	F:2- → 2≠ → R3 → R1 → R2- → 2= → R1 → 1≠
112-113	08.05-08.10	G34 h, (E34)
114	08.11-08.14	(E)
115	08.22	E34
116	08.22-08.33	F: 2- → R2- → R3 → R1
117	08.35-08.37	E34 h
118	08.40-08.55	(K34)
119	08.55-09.07	(K), V:? (Weg)
120	09.11-	K:R2-1, R3+1, R1+1, (R2=0) Durch diese: S:2= → 1-
	09.41	F:RN und K: R1-1, R2+1, Z:R1 (R1=0) Barus hat den Algorithmus gefunden
121	09.42-09.46	V: Z: 34 → 1 Versuchsleiter beschleunigt den Bauprozeß, da die Zeit
122	09.54	V: K34 knapp wird
123-125	09.56-09.58	V: G65 h & E66 h, G47 h
126	09.59-10.01	V: Cr47
127-130	10.03-10.12	G35, C1 & C1 h (C)
131	10.31-10.33	C1
132	10.33-10.47	F: 2- → R2 → R3+ → R1+ → R2- → R1- → R2+
133	10.47	G48
134-135	10.56	C1h, Er1
136	11.00-11.03	K, S: 2- → R2- → R3+ → R1+ (R2=0)
137	11.10-	V: D'R2
138	12.03-12.08	S: 2= → R1- → R2+ → 2) .

139	12.08-12.19	n, f
140-147	12.20-12.50	b: G49-52, Cr53, G54-56
148	12.50-12.55	P: G56 59 ("Aha")
149	12.58	G58 h
150	13.00-13.01	G57
151	13.07-13.09	K58
152	13.09-13.12	P: K58 → 1-

153-155	13.25-13.35	V: C59, G60, G61
156-158	13.37-13.38	C45 h: Er 45, Er 45 h
159	13.55-13.58	V: El 45
160	13.59-14.01	G62
161	14.01-14.25	V: (B)
162	14.26	V: (63), M: C63
163	14.32-14.35	V:k
	14.40-15.01	k: R2=4, R3=0
	15.02-16.08	k: R2+1, R3+1, St. C59 R1+1 (R2=0) R1-1, R2+1 (R1=0)

Besondere Vorkommnisse / Bemerkungen:

- Barus beginnt mit Ansteuerung der Veränderung "-1" in R2.

- Bei der Realisierung des Transportes von R2 nach R3 muß beachtet werden, daß Barus seinen Algorithmus gerade erfindet. Ein Schüler, der sich diesen Algorithmus bereits in der S-Form erarbeitet hat und/oder einen eher begrifflichen Zugang hat, wäre möglicherweise dazu gekommen, zunächst einen Baustein vor R3 zu setzen, d.h. erst die auszuführenden Operationen zu regeln und danach zu schauen, wie er die Operationsausführungen mit Wegen verbindet. Barus kommt über Wege zu den Operationsausführungen. Diese Wege plant er außerordentlich geschickt. Die Standorte der Register sind Wegteile und werden so gewählt, daß sie in einen günstigen Verlauf des Weges passen.

- Die eigentliche Lösung findet Barus erst nach einer Hilfe des Versuchsleiters.

  Zunächst gelingt ihm nur, in R3 das gewünschte Ergebnis herzustellen.

  Tatsächlich erreicht Barus mit seinem (Teil-) Algorithmus sehr wenig. Nach wie vor hat er in nur einem der Ergebnisregister den gewünschten Inhalt.

  R1 wird als Links-Kurve benutzt (bislang waren immer alle Register auf dem Brett in das Netz eingebaut), da Barus glaubt, daß Veränderungen in diesem Register nichts zur Organisation des Informationsflusses beitragen dürfen; sein Inhalt ist und bleibt lt. Aufgabentext Null. Erst nach langen überlegungen, die unterschiedliche Benutzung von R2 mit einer Weiche zu lösen (dieses ist nicht möglich), kommt er im Gespräch mit dem Versuchsleiter dazu nachzufragen, ob R1 **benutzt** werden darf (Zeile 62-63).

  Offensichtlich liegt ihm der Begriff / die Idee "Zwischenlagerung " in R1 fern. In strukturierten begrifflichen Vorüberlegungen könnte diese Vorstellung mit geringem Aufwand berücksichtigt werden. Bei einer sequentiellen / funktionalen Strategie ist der Aufwand erheblich größer, solange dafür noch kein "Unterprogramm" erarbeitet wurde.

- Nach Klärung der Tatsache, daß R1 benutzt werden darf, ist Barus auch augenblicklich fähig, die Möglichkeiten von R1 zur Organisation seines Informationsflusses auszunutzen. Bei seinem Einbau von R1 in das Netz ist die Reihenfolge bemerkenswert. (s. dazu Abb. B 2.2k -5/6/7).

  Die Wegstücke als Informations-Weiterträger werden an mehreren Stellen parallel weiterentwickelt. Dieses Weiterführen von Information an Stellen unterschiedlichster Bedeutung für den Gesamt-Prozeß ist kennzeichnend für erstklassige funktionale Leistung. Bei einem eher begrifflichen / prädikativen Schüler ist ein solcher Entwicklungsteil bei einem Netzbau schwer vorstellbar. Fallen ihm schon Antworten über den Stellenwert einzelner Bausteine / Verbindungswege für die zu bewirkende Zahlverarbeitung enorm schwer, wird er erst recht dieses Hin- und Herspringen in der Art von Barus nicht mehr meistern können.

Für ein tieferes Verständnis der geistigen Mechanismen, die wir unter dem Begriff sequentiell / funktional zusammenfassen, ist das hier beobachtete Verhalten von Barus besonders wichtig. Es zeigt, daß unter dem Begriff "sequentiell" nicht nur eine Denkstrategie erfaßt wird, die der Wirkungsweise von Netzwerken sequentieller Automaten (vgl. OTTMANN 1973) entspricht. Bei diesem läuft in einem Netz nur ein Impuls. Das Verhalten von Barus entspricht dagegen einer Parallelverarbeitung von Information. Barus arbeitet offensichtlich an dieser Stelle mit einer parallelen funktionalen Problemlösestrategie.

Diese Strategie findet sich auch bei Schülern, denen Aufgaben zum Verbinden von vorgegebenen Eingängen und Ausgängen gestellt wurden (vgl. Vortraining 0. Stunde).

Repräsentation: Geschehen in N-Form /Listi 2.2k - 1

Listi, Aufgabe 2.2k

1	17.50-19.20	R(V)	
2	19.25	(G)	
3	19.27-19.33	M:R2=x2	
4	19.33-19.35	G3	
5	19.37-19.41	t:R2+	vgl. Zeile 12: Subtraktionsweg wird benutzt, aber Additionsweg getestet
6	19.43-19.47	G51	
7	19.48-19.49	(G)	
8	19.49-19.54	G51h, G5	
9	19.54-19.56	(E)	
10	19.57-20.00	Cr4	
11	20.00-20.04	G6	
12	20.06-20.10	t:R3-	vgl. Zeile 5
13	20.11-20.14	G7	
14	20.18-20.20	V:DR2, M:(K)	
15	20.27-20.31	G8	
16	20.31	(K)	
17	20.33-20.41	n, Z:R2, P: x → y (nicht klar)	
18	20.43-20.53	t: R2- & R2+	
19	20.55-21.01	G9	
20	21.03-21.10	P:2- → R3+ → 3> → 3+	
21	21.11-21.15	P:3> → 3+ → 3>	
22	21.16-21.22	P:2- → 2= → 32 ("Aha")	
23	21.24-21.26	G10	
24	21.26-21.34	n, P:x → y (nicht klar)	
25	21.35-21.37	K11	
26	21.38-21.41	G12	
27	21.42-21.46	Cl 13	

28	21.48-21.52	g:Text & F:1)→ 24	
29	21.55-21.57	Cr14	
30-41	21.58-22.53	b: 1)→ 2- :G15-23, Cr24, G25-26	
42	22.54-22.58	P: 26→2- & 2=→ 2+	
43	23.00-23.02	G27	
44	23.06-23.10	K28	
45	23.12-23.13	G29	
46	23.17-23.22	(C) & Cr2	1. Schleife ist geregelt

47	23.29-23.31	Cl 31	Fehler: 2. Schleife wird falsch angesteuert; die Reihenfolge der in der Schleife auszuführenden Operationen ist in der N-Form sehr streng gehandhabt; zunächst muß im Steuerregister rückwärts gezählt werden; in der S-Form könnte Listi's Ansatz zur richtigen Lösung führen.
48-52	23.33-23.51	G32-33, Cl 34, G1, G35	
53	23.51-23.53	(G)	
54	23.54-23.56	Cl 36	
55	23.58-00.04	G37	
56-58	00.07-00.22	Cl 38, G39-40	
59	00.22-00.24	V: (B)	
60-61	00.26-0031	G41-42	
62	00.31-01.05	F: x→ y (nicht klar):	
		1. Z: R3 2. F: 2-→ 2=→ 34	
		3. F: 2-→ 2≠→ R3+→ 3)→ R1+→ 1)→ 2+→ 2)→ R1- → R2	
63	01.02-01.04	V:? & I	
64-65	01.05-01.15	G1 h, C2 h	
66	01.16-01.18	Er2	
67	01.22-01.24	K1	
68	01.26-02.37	S:2-→ R3→ R1 (R2=0), 2=→ R2+→ 1-, St	
69	02.40-02.46	z: R1- ,n, f, "Aha"	
70	02.50-02.54	G43	

71	02.55-03.05	P: G43+45→ 9→ 50→ 52
72	03.06-03.11	n: F: 2)→ 2-→ 2=→ 34 (nicht so klar)
73	03.11-03.13	V: ? (Idee/Weg)
74	03.14-03.23	K & F: G43→ 47→ 49→ 54→ 2+

75	03.24-03.28	G9h
76	03.26-03.29	V:F: G43 → 45 → rechts → unten → 2+
77	03.30-03.38	F: wie bei Zeile 74
78	03.38- 03.39	I.
79	03.39-04.40	n, F: R1+ → R2- → R2+ → R1-
80	04.41-04.49	C44
81-82	04.50-05.02	G45, K9
83	05.02-05.05	P:K9 → 47 → 49 → 54 → 2+
84	05.09-05.11	G46
85	05.12-05.13	(G47)
86	05.13-05.15	C47
87	05.15-05.16	G7 h
88	05.18-05.21	K7
89	05.24-05.26	G48
90	05.29-05.33	C49
91-92	05.34-05.49	G50-52
93	05.49-05.50	P: G52 → 54 → 3
94	05.50-05.54	G32 h
95	05.55-05.59	G53
96	06.09-06.10	C54
97	06.15-06.22	E32 Netz fertig (bis auf Steuerungsfehler)
98	06.29-06.32	k, F: 1- → R1-
99	06.33-06.53	M: R3=0, R2=4 & R1=0
100	06.54-07.52	k, S:2- → R2- → R3+ → R1+ → R2- (R2=0)
		V: D´R2 & DR2
101	07.52-08.48	k & S: 2= → R2+ → R1- (R1=0)
102	08.53	Ge, V: D´R2 , M:g: Ergebnis
	08.54-09.40	Ge, H: N15
103	09.05-09.12	S: 2- → R2-
	09.40-09.47	n, P: 2= → R1

104	09.48-09.58	n, V: F:2= → 34 → 58 → 1-
105	09.59-10.01	G37 h
106	10.02-10.20	C38 h
107	10.20-10.40	n, P: 2- → 2= → 34 → 36 → R2+ → 38 → 58 → R1-
108	10.41-	C36 h
109	10.43	G27 h Schüler arbeitet "gegen" VL
110	10.52-10.53	K27
111	10.53-11.28	F:58 → 27 → 1-, F:1= → K1
112	11.28-11.30	V:? (Idee)
113	11.30-11.39	V: F: 36 → 58 → 1-
114	11.43-11.44	C1 58
115	11.50	V: K28 h
116	11.50-12.07	F: RN (nicht Klar)
117	12.07-12.08	C1 58 h
118	12.12	C1 58
119	12.14	G26 h
120	12.15-12.22	K26
121	12.31	C1 59
122	12.35	C1 36
123	12.48-12.49	K28
124	12.50-13.01	G37
125	13.04	G39 h
126	13.11-13.12	Cr38
127	13.15	G56
128	13.19	K27
129	13.24	C58 h
130	13.30	K27
131	13.36	G57
132	13.40	C59 h
133-134	13.44	K26 h & : K26

135	13.49	C58
136	13.49-14.01	F:1- → 1= → R2+ → 58 St
137	14.09	C59
138-141	14.10-14.31	G60-62, Cr39
142	14.39	Cl 63
143	14.40-14.48	F: R2- → R2+ → 58 → 59 → 1-
144	14.50-15.00	R3=0
145-146	15.06-17.06	S: R2 → R3+ → R1+ (R2=0), V: DR2 & D'R2
147	17.10-17.45	Ge, n

148	17.45	C58 h
149	17.48	E58
150	17.55	C36 h
151	18.00-18.28	F: 1→ 58 , F: 48 → 49 → 54 → 32
152	18.28-18.33	H: E5, V:F:54 → 32 → 37
153	18.40	E32 h
154	18.50	(K)
155	18.52-18.54	G3 h
156	19.00	K32
157	19.15	K3
158	19.25	G37 h
159	19.30-19.35	G30
160	19.37-19.38	E37
161	19.40-20.01	F: 33 → 34 → 1 → 35 → 36
162	20.01	K28 h
163	20.06	E37 h
164	20.14-20.15	C37
165	20.20-20.26	G28
166	20.30-20.32	G36
167	20.33-20.37	V: R2=i
168	20.37-20.45	I

169	20.50-20.54	M: R3=0
170	20.54-22.32	S: 2-→ R2- → R3+ → R1+ (R2=0)
		2=→ R1(-) → R2+ → R1- (R1=0)

Listi hat "und"-Vorstellung: In R2 wird einer dazugezählt **und** in R3 wird einer weggenommen; vgl. dagegen ein Schüler mit "Folge"-Vorstellung: **erst** wird in R3 einer abgezogen, **dann** in R2 einer dazugezählt.

Etwas allgemeiner ausgedrückt beschreibt Listi, was er erreichen muß: dies und das und das ... Hier kann es für ihn dann ein Problem geben, wenn die Reihenfolge, in der er die Ziele aufzählt, für den zu erfindenden Algorithmus (ganz genau) wichtig ist. Dafür hat er in seiner sprachlichen Formulierung keine Worte vorgesehen; bei einer begrifflichen Denkweise folgt daraus, daß ihm dieses Problem nicht bewußt wird und deshalb (mangels Kennzeichnung) auch nicht gelöst wird.
Ein prädikativer Schüler überlegt eher, was zu verändern ist, ein funktionaler eher, wie (was) zu verändern ist.

Repräsentation: Geschehen in N-Form / Sriat 2.2k -1

Sriat: Aufgabe 2.2k

1	-15.43	R(V)	
2	15.43-15.55	n	
3	15.55	(G)	
4	16.05-16.09	V:R2= & DR2	
5	16.14-16.20	P: 2- → 2≠ → 5, g:Text	Text begucken kann ihr begriffliche Orientierung geben, Erinnerungshilfe an Algorithmus der S-Form
6	16.27	C3	
7	16.31	G4	
8	16.31-16.49	n, g:Text	erkannt: R3+ muß angesteuert werden, Weg dahin führt über 2 Kurven
9	16.52	C5	
10	17.06	C6	
11	17.11-17.13	G7	
12	17.13-17.20	F:RN:2- → 2≠ → 3+	sich in Prozeß versetzt
13-14	17.30-17.42	G8, G9	
15	17.47-17.48	K10	vielleicht "nur" vorsichtshalber, damit R4- explizit erreichbar bleibt, Kreuzung wird "verdreht" gesetzt: "Nase" zeigt nicht auf Eingang von R4, vgl. Zeile 56
16	17.52-17.53	G11	
17	17.53-18.00	n	
18	18.00-18.03	C12	
19	18.07	G13	
20	18.14-18.16	C14	
21	18.16-18.29	n, P: 3) → 4+ → 4) → 20	
22-23	18.30-18.38	G15-16	
24-30	18.40-19.17	b:G17-23	
31	19.19-19.21	(G)	impulsiv Gerade gegriffen, aber trotzdem folgt erst noch Nachdenken
32	19.23-19.36	F:2- → R3 → R4+ → R2	
33	19.36	(G24)	
34	19.43	C24	

Repräsentation: Geschehen in N-Form / Sriat 2.2 - 2

35	19.50	G25	
36	19.53	G26	
37	19.59-20.02	G27	
38	20.08	G28	
39	20.08-20.19	n	
40	20.19-20.21	G28 h	
41	20.21-20.56	P: 28 → 2- & n&F: RN	
42	20.56	G28	
43	21.02	G29	
44	21.09	Cr2	
45	21.09-21.40	F:2- → R3 → R4 → 2- , n	
46	21.42-21.48	M: (C2)h & V: C2 h	
47	21.56	(E)	
48	22.03-22.07	M: (E2) & V: E2	1. Schleife beendet
49	22.07-22.34	F:2- → R3 → R4 → 2- , n	2. Schleife wird in Angriff genommen, dazu Ist-Bestand getestet
50	22.34-22.50	G28 h	zunächst werden die beiden Schleifen nicht miteinander verbunden; es ist noch nicht im Bewußtsein von Sriat, daß Informationsfluß organisiert wird und Information nur über die gebauten Bahnen weitergetragen wird.
51	22.53-22.57	K28	

52	23.06	C35	Idee, daß später in R2 vorwärts zu zählen ist, besteht
53	23.06-23.15	n	
54	23.16-23.17	G36	große Klarheit über
55	23.22	G37-38	dieses Wegstück;
56	23.33-23.47	K10 (umgestellt)	danach, sozusagen
57	23.51	G39	"mitten" im Weg,
58	00.00	G40	folgt
59-68	00.07-00.56	G41-46, C47, G48-50	Nachdenken
69	00.56-01.01	n	
70-80	01.01-02.00	G51 → 57, C58, G59-60, G32	

81	02.11-02.21	n	
82	02.11-02.21	K1	
83	02.22	G33	
84	02.26-02.30	C1 34	
85	02.33-02.50	n, F:RN	
86	02.50-04.30	R3=0 & R4=0 & k & S: RN (R2=0) Sriat: "..hier (R2) ist Null, geht man heraus. Dann fängt man wieder von hier (R2+) an." VL.: (H E 5n): "Wo ist der Weg? Woher und wohin willst du gehen?"	
87	04.30-04.36	G32 h	
88	04.36-04.50	n	Schleifensteuerung
89	04.56-04.57	C30	falsch
90	04.57-05.05	n	vgl. Listi
91	05.05-05.07	G31	spätere Fehlerbehebung
92	05.14-05.17	E32	vgl. ebenfalls Listi
93	05.20-	k & S:2=0 → R2+ → R4- → R2+ → R4- (R4=0)	
94	06.30-06.38	V:?	
95	06.38	V:D'R2	
96	06.40-06.50	Ge (über Ergebnis)	
97	06.50-07.50	n., Ge & F:RN H: N14 (Nachfrage)	
98	07.50-08.11	V: R2=x2 & DR2 & R3=x3, R4=x4	
99	08.15-09.42	S:2- → R3+ → R4+ → 2- (R2=0)	
100	09.45-09.48	Z:R4 & R3	
101	09.49-09.50	D'R2	
102	09.50-12.30	n, F:RN VL (HN15): "Was hast du bei dem 2. Teil gemacht, als du in S-Form gearbeitet hast?" Sriat: "Zuerst wird in R2 1 subtrahiert. In R3 wird 1 addiert, in R4 1 addiert, in ... weiter.., bis R2 leer ist." VL: "Wichtig ist danach". Sriat: "Ehm". VL: "Zeig mir, was du meinst".	

103	12.30-13.30	F:2= → 2+ → R4- (2mal)
		"Ich meine: Von hier (2=) nach hier (4-), ja zuerst hier (4-). Erst dann folgt von hier (2+) an".
104	13.30-13.38	V:F:2= → 32 → 61 (zeigt Weg zur Realisierung des Gesagten)

105	13.38-13.45	V: (G31)h	
106	13.45-13.51	F:2= → 4-	
107	14.03	V: C34 h & F:62 → 4-	
108	14.13-14.16	G34	
109	14.21	G27 h	
110	14.28	: G27	
111	14.29-14.30	G26 h	
112	14.33	G61	
113	14.37	V:C1 62	
114	14.43	V:K26	
115-117	14.50-15.00	G63-65	
118	15.00	V: G39 h	
119	15.04	V: Er39	
120-121	15.05-15.17	G66-67	
122	15.24	C1 68	
123	15.25-15.44	V:F:RN:2= → 34	Versuchsleiter hilft ent-
124-125	15.44-15.46	V: C5 h, C6 h	scheidend b.d.Lösung
126-128	15.56-16.05	V: G7 h, C35 h, G36 h	
129	16.05-16.16	V: R2:1o	
130-131	16.16-16.45	V: G4:1o, C3:1o	
132	16.55	V: Cr 74	
133	17.01	V: (C7)	
134	17.02	V: C1 7	
135	17.07	V: C30:1o	
136-137	17.07-17.24	V: (G30), G31:1o	

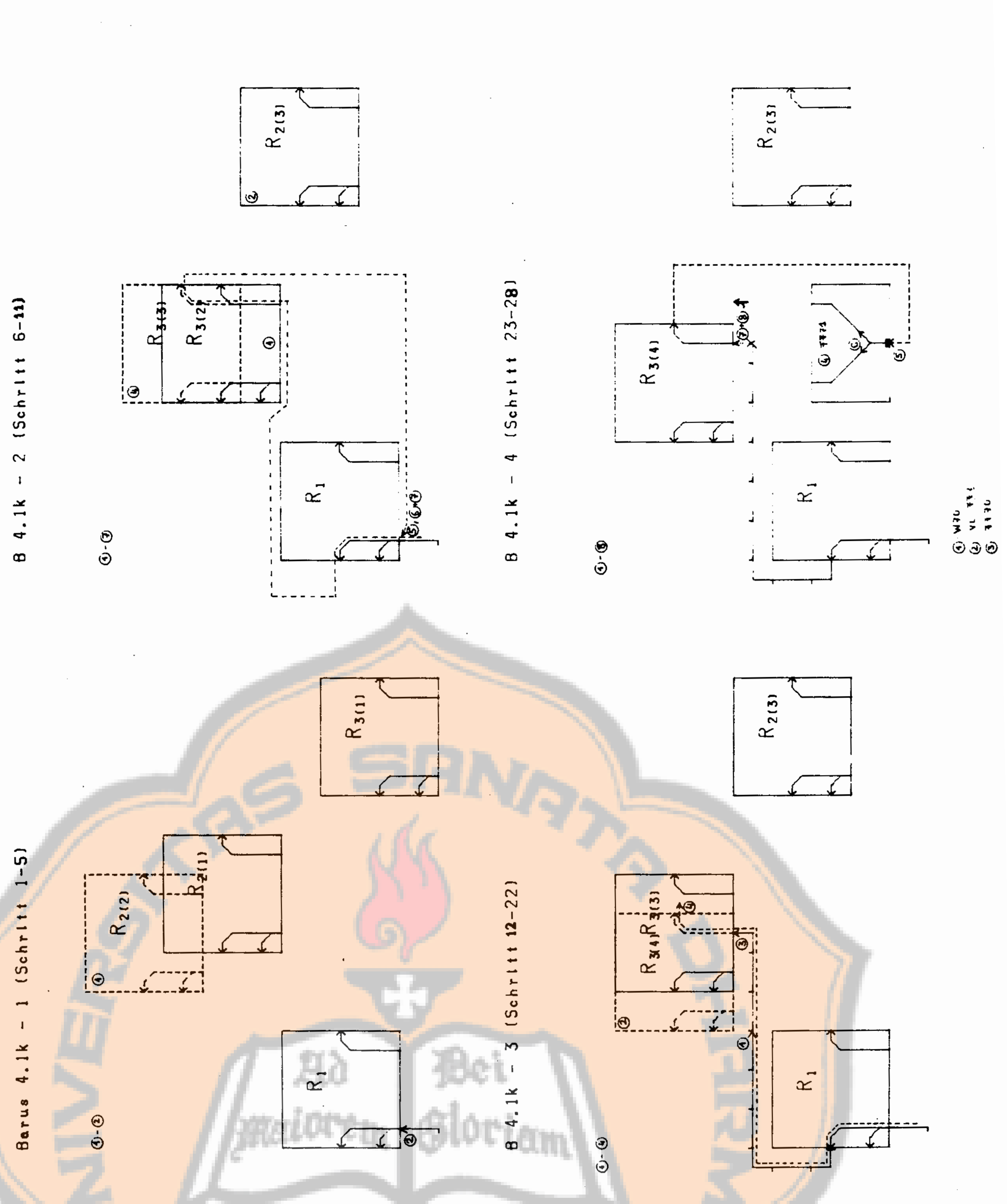
138-139		V: (G31), V: Er2:1o
140	17.24-17.31	V: K28:1o
141-142		V: G29:1o, (G31)
143	17.52	V: K2
144	17.58	V: C1 31
145	18.05	C1 31 h
146	18.09	V: K2 h,: K2
147	18.11	V: G29
148-153	18.12-18.22	V: G27 h, G63 h, K26: 1o, G25 h, Cr24 h, G23 h
154-158	18.23-18.34	C1 31, V:Cr23, G69, G70, G28
159	18.36	V: G28 h:1r
160	18.37	V: C62:1o
161	18.38	V: G34 h
162-163	18.40-18.52	V: K28, G61 h
164	18.56	V: C34
165	19.09	K1 h, :K1
166	19.11	V: C36
167	19.24-19.43	R2=4
168	19.45-19.48	R3=o
169	19.55-21.45	S= 2-→ R3+→ R4+ → 2- (R2=0) &
		2= → 4- → 2+ (R4=0)

Sriat baut etappenweise.

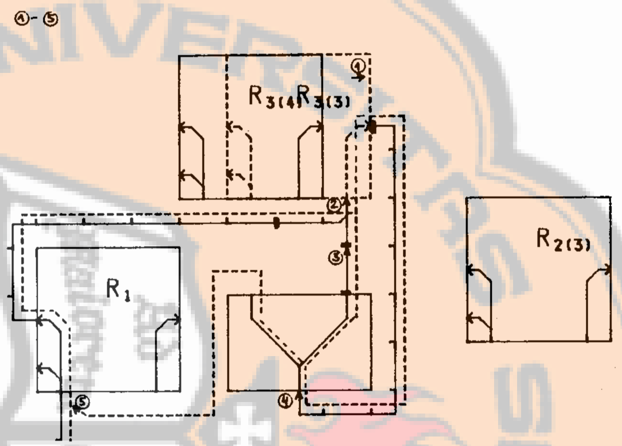
Sriat ist kein N-Typ, d.h. sie findet sich nicht leicht in der N-Welt zurecht.

3.3.2 Zusatz: B A R U S mit Aufgabe 4.1k -

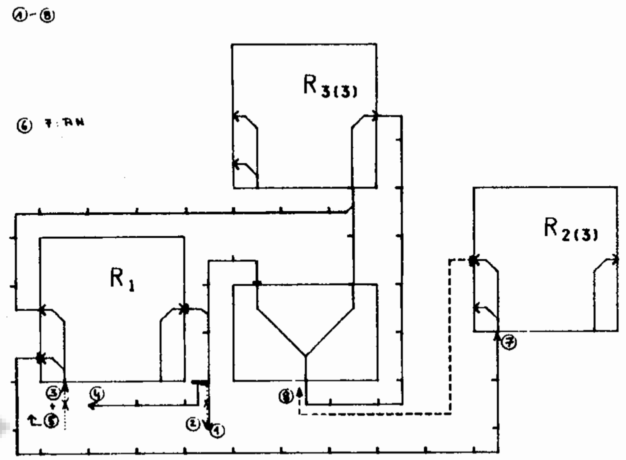
" A D D I T I O N von Z W E I F A C H E N "


Barus 4.1k - 1 (Schritt 1-5)
R2(2)
R2(1)
R1
R3(1)
B 4.1k - 2 (Schritt 6-11)
R3(3)
R3(2)
R1
R2(3)
B 4.1k - 3 (Schritt 12-22)
R3(4) R3(3)
R1
R2(3)
B 4.1k - 4 (Schritt 23-28)
R3(4)
R1
R2(3)

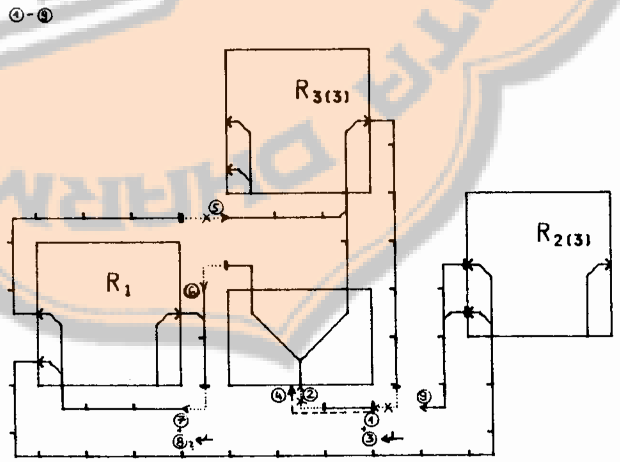
B 4.1k - 5 (Schritt 2 -43)



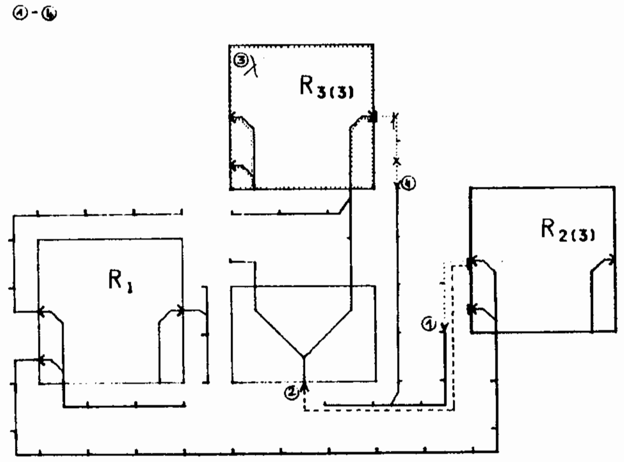
B 4.1k - 6 (Schritt 44-67)



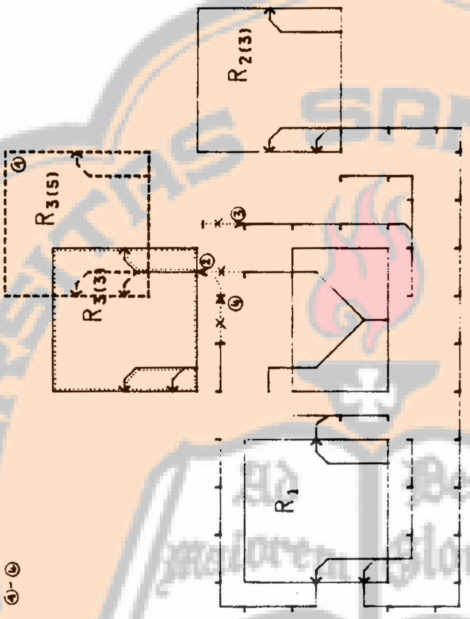
B 4.1k - 7 (Schritt 68-85)



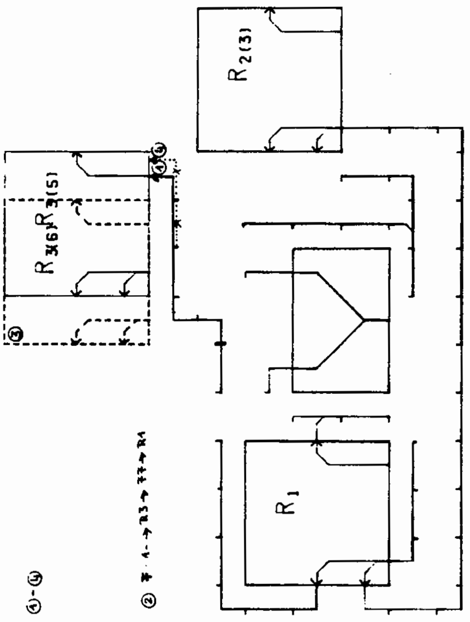
B 4.1k - 8 (Schritt 86-91)



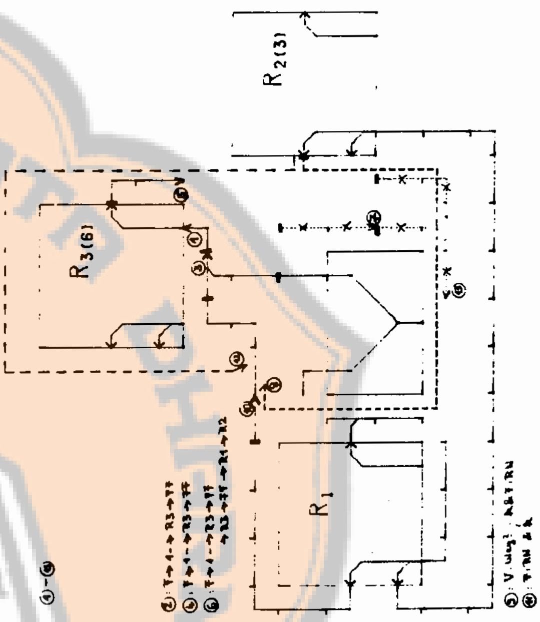
B 4.1k - 9 (Schritt 92-96)



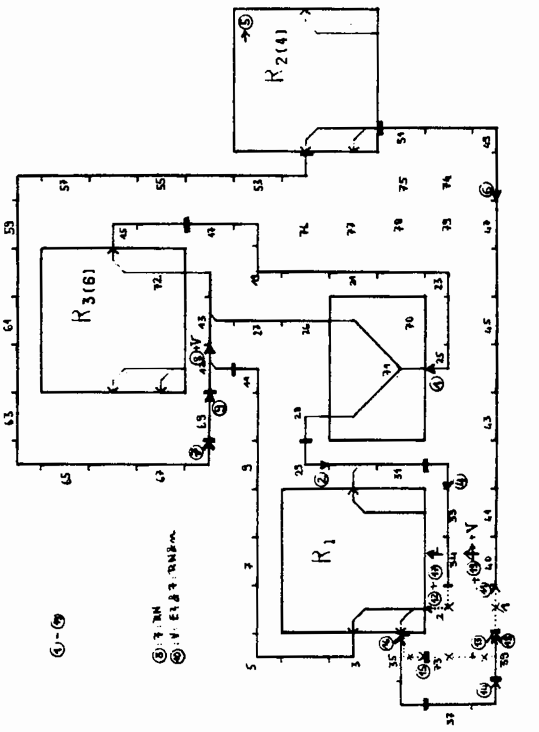
B 4.1k - 10 (Schritt 97-105)



B 4.1k - 11 (Schritt 106-126)



B 4.1k - 12 (Schritt 127-189)



Repräsentation: Geschehen in N-Form / Barus 4.1 - 1

Barus: Aufgabe 4.1k

1	01.05-01.20	R(M)	
2	01.41-01.49	R2(1): 1 l, 2o (=R2(2)) (R2(1)= Anfangsposition	Vorab in Wegen von R1 nach R2 gedacht
3	01.49-03.09	n, f	
4	03.11-03.12	G2	
5	03.12-03.27	n	

6	03.27-04.13	R3(1): 5 l, 4o (=R3(2) & R2(2):5r, 4u (=R2(3))	
7	04.13-04.57	P:R1-⟶ R3 ⟶ R1- ,n	
8	04.57-05.03	R3(2):1o (=R3(3))	
9	05.04-05.07	P:1-⟶ R3+ ⟶ R1-	
10	05.19-05.30	V:R2=x2 & DR2 & R1=x1 & DR1	
11	05.30-06.06	n, P:1-⟶ R3 ⟶ 1-(2x) & n	

12-17	06.07-06.29	b:1⇌⟶ R3:Cr3, G4, Cr5, G6-8	
18	06.31-06.34	R3(3): 1 l (=R3(4))	R3 Baustein wie andere auch in seiner Eigenschaft als Wegbestandteil
19	06.35-06.37	G9	
20	06.38-06.39	G10	
21	06.45-06.47	Cl 11	
22	06.48-06.50	F:RN & n	

23	07.44-07.54	W70 & V:? (FF)	
24-25	07.56-08.01	W70 h & FF 71	
26	08.02-08.54	P:3)⟶ FF , t:FF	
27	08.54-08.56	Cl 11 h	
28	08.56-09.03	El 11	

29	09.05-09.13	R3(4):1r (=R3(3))	
30	09.13-09.20	El 11:1r	

Repräsentation: Geschehen in N-Form / Barus 4.1 - 2

31	09.21-09.24	G11
32	09.28-09.31	G26
33	09.31-09.39	n
34	09.37-09.38	Cr72
35-42	09.39-10.06	b:G14, G19-22, Cr23, G24, Cr25
43	10.07-10.26	F:RN:1-→ R3 → FF → R3 → FF → R1

44	10.26-10.32	Cl 28
45	10.36-10.38	Cl 29
46	10.40-10.42	(G30)
47	10.43-10.46	Er30
48	10.47-10.49	G31
49	10.50-10.55	G32 & n
50-51	10.55-11.00	G32 h & G2 h
52	11.01-11.04	(Cl)
53	11.07-11.08	(Cl 32)
54	11.11-11.12	Cr 32
55-57	11.14-11.24	G33-34 & Cr2
58	11.25-11.48	n & F:RN
59-61	11.49-11.57	Cl 35, G73 & (G39)
62	11.59-12.32	Cl 39, G1, G40-47
63	12.34-12.37	(G)
64	12.38-12.40	Cl 48
65-66	12.42-12.48	G74-75
67	12.49-13.40	P:2≠→FF & n

68-69	13.41-13.46	Cr 23 h, Cr 25 h
70	13.48-14.02	(El) & n
71	14.04-14.06	Er 23
72	14.07-14.24	P:E23→ FF & n
73-75	14.25-14.36	G9 h, Cl 29 h, Cr 32 h

76	14.38-14.42	(El 32)	
77	14.43-14.47	Er 32	
78	14.50	Er 32 h	
79	14.51-15.03	n	hilfreich, nützlich für Barus: Er weiß offensichtlich nicht weiter, ist aber in der Lage, sich an verschiedenen Stellen des Netzes in den Prozeß einzufinden und Stellen zu suchen, wo er mit der Organisation des Prozesses weiterkommt.
80	15.03-15.06	Cl 76	
81	15.07-15.09	(E)	
82	15.11-15.14	El 77	
83-84	15.15-15.26	G78, Cr79	
85	15.27-15.44	n, "Aha"	

86-87	15.47-15.55	Cl 76 h, El 77 h
88	15.56-16.48	n, P: 2≠ → FF
89	16.48-16.52	R3 h
90-91	16.52-16.55	Cr 72 h, G14 h

92	16.56-17.00	R3(3): 2↑, 1o (=R3(5))
93-94	17.01-17.06	El 27 h & G19 h
95	17.07-17.34	n
96	17.34-17.35	G11 h

97	17.39-17.40	Cl 11
8	17.41-17.42	Cr 12
99	17.43-17.45	G13
100	17.48-17.49	G14
101	18.00-18.01	Cl 17
102	18.02-18.21	F:1- → R3 → FF → R1
103	18.22-18.25	R3(5): 1 1 (=R3(6))
104-105	18.26-18.28	Cl 17 h, G14 h

106	18.29-18.30	Cl 14	muß sich dauernd auf den Weg begeben, um zu wissen, woran er ist; nicht begrifflich abgespeichert. Seine Strategie schützt ihn davon, die offenen Wegenden falsch zu verbinden.
107	18.31-18.40	F:1- R3 FF	
108-109	18.41-18.51	G13 h & Er 13	

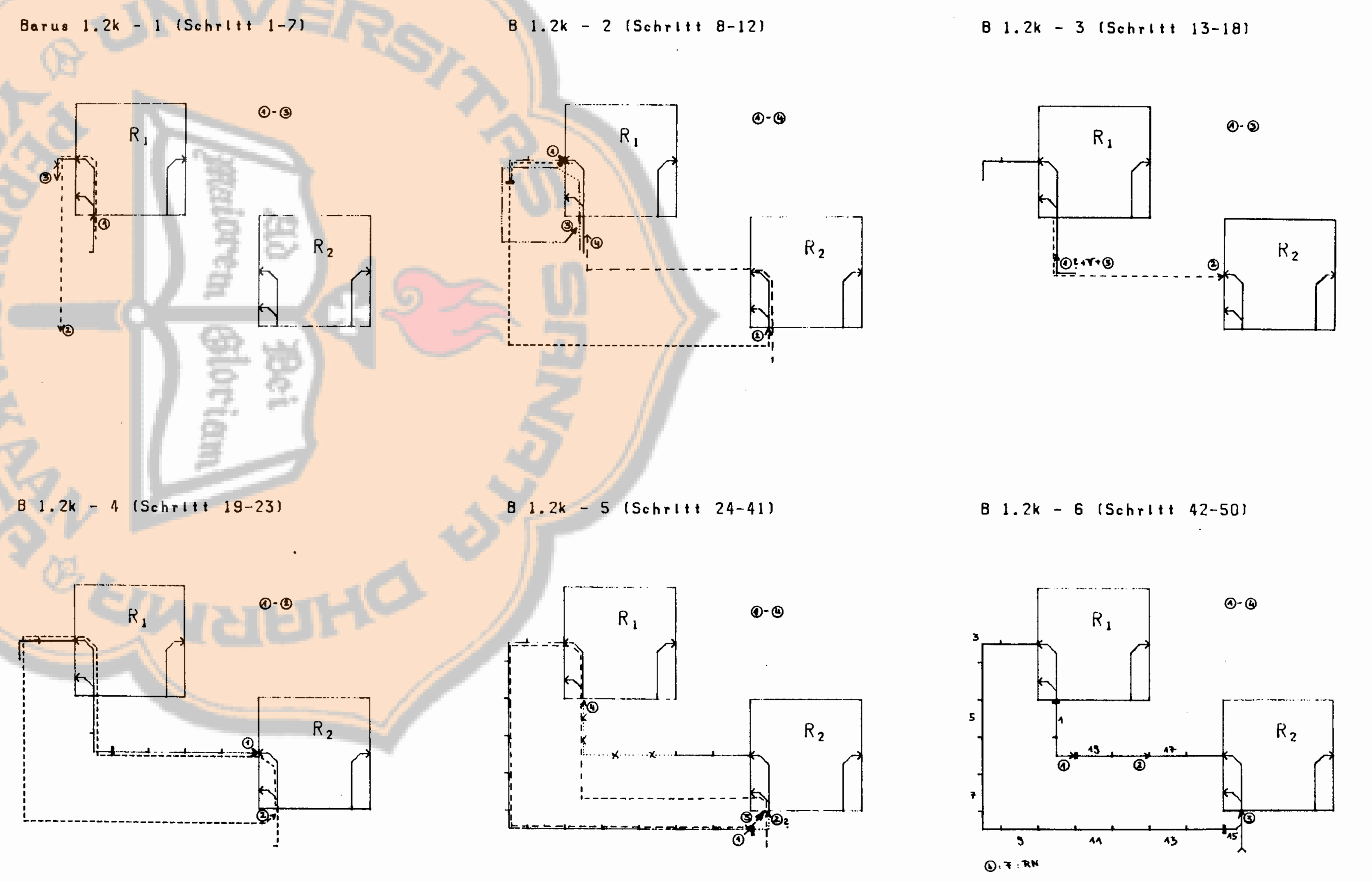
110	18.52-18.55	G27
111	18.55-19.01	F:1-→ R3 → FF
112-113	19.02-19.03	Cr 15, G16
114	19.04-19.32	F:1-→ R3 → FF → R3 → R1 → R2
115-116	19.33-19.36	G20-21h
117	19.36-19.49	F: 2≠ → FF (unten) → links → oben nach R3
118	19.49-19.51	V:? (Weg)
119	19.55-19.58	k & F: RN
120	19.59-20.00	G9
121	20.00-21.17	F:RN
		k: R3+1, FF, R3+1, FF (R1=o),
		R2-1→ FF unten > FF, R3+1, FF, st
122	21.20-21.22	V:F: 2≠ → über R3 → 3+
123-124	21.25-21.33	G70 h, G22 h, C74 h, E23 h
125	21.33-21.35	G24 h
126	21.35-21.50	n

127-129	21.51-22.08	G17, Cr18, Cl 19
130-136	22.10-22.41	G20-22, (C), C23, G24, C25
137	22.44-22.46	Cr 29
138	22.46-22.53	F:RN
139	22.58-23.00	Cr 32
140	23.00-23.16	R2(3):1r (=R2(4))
141	23.17	G75:1r
142		G74:1r
143	-23.21	Cl 40:1r
144	23.21-23.25	G48
145	23.30-	Cr 52, G53-57, Cr 58, G59-63, Cl 64
161	00.51	G65-67, Cl 68
162	00.52-00.53	Cr 12 h
163-164	01.06-01.11	V: (Er) & Er12

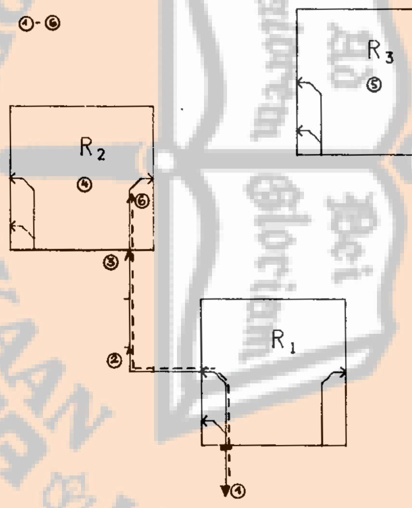
Repräsentation: Geschehen in N-Form / Barus 4.1 - 5

165	01.17-01.18	G69
166	01.23-	V:? (E)
167	01.24-01.46	F: RN & n
168-169	01.47-01.55	G1 h & Cr2 h
170	01.54-01.58	(K)
171-172	02.00-02.10	G73 h & C1 39 h
173-175	02.10-02.13	G37 & C 38
176	02.16	C35: 11 & G35
177-178	02.17-02.20	(G) & (K)
179	02.26	(E1)
180	02.27-02.28	Er2
181-182	02.29-02.32	(G) & (K)
183-184	02.39-02.45	G39, V:(K)
185	02.50	K1
186	02.58-03.00	I
187	03.02-03.16	M: D'R1 & D'R2 & R2=12
188	03.21	M: R3= 0 & Ge
		S: 1 $\rightarrow$ R3 $\rightarrow$ FF $\rightarrow$ R3(R1=0) &
		R2 $\rightarrow$ R3 $\rightarrow$ FF $\rightarrow$ R3 (R2=o)
		K: R1-1, R3+1, R3+1, (R1=o)
	05.20	R2-1, R3+1, R3+1, (R2=o)

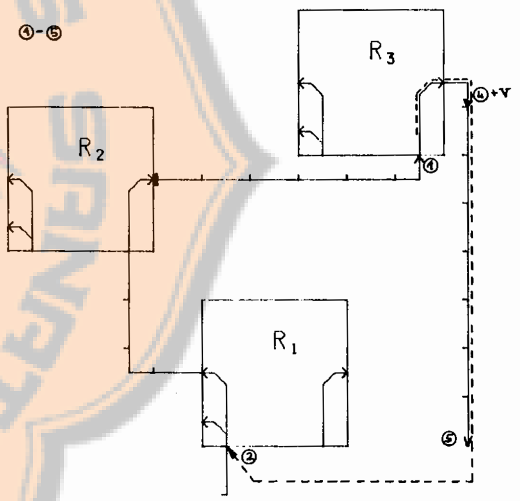
3.4 Zur Abrundung: Darstellung der weiteren Lösungswege von Barus, Sriat, Listi in der N-Form anhand spezieller Zeichnungen (hier wird aus Platzgründen auf die Angabe der Detail-Protokolle verzichtet)


Barus 1.2k - 1 (Schritt 1-7)
B 1.2k - 2 (Schritt 8-12)
B 1.2k - 3 (Schritt 13-18)
B 1.2k - 4 (Schritt 19-23)
B 1.2k - 5 (Schritt 24-41)
B 1.2k - 6 (Schritt 42-50)
R_1
R_2

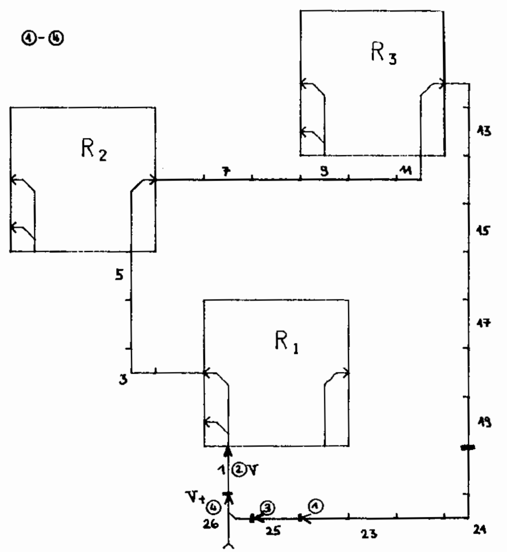
Barus 2.1k - 1 (Schritt 1-14)



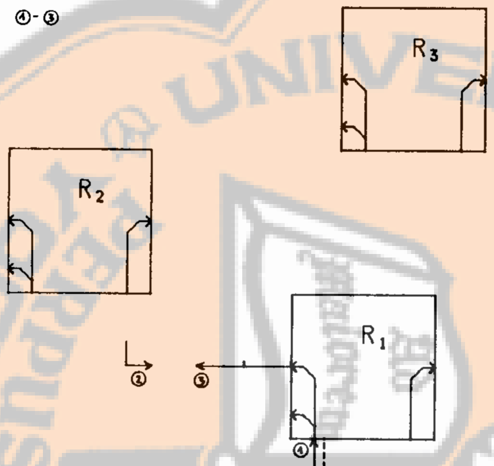
B 2.1k - 2 (Schritt 15-33)



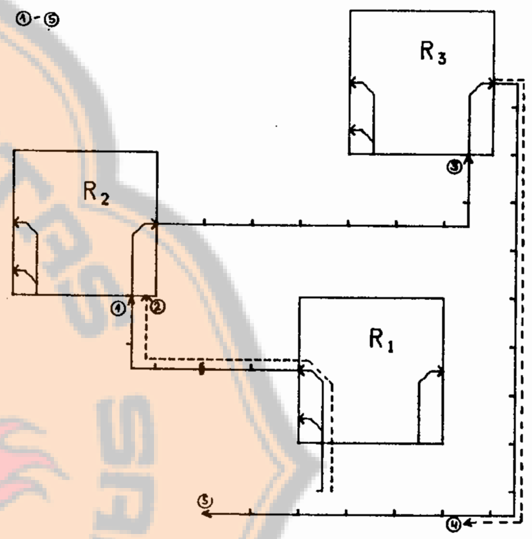
B 2.1k - 3 (Schritt 34-49)



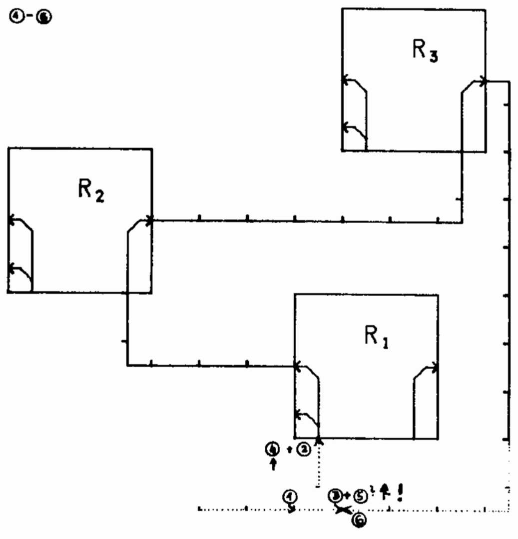
Barus 3.1k - 1 (Schritt 1-9)



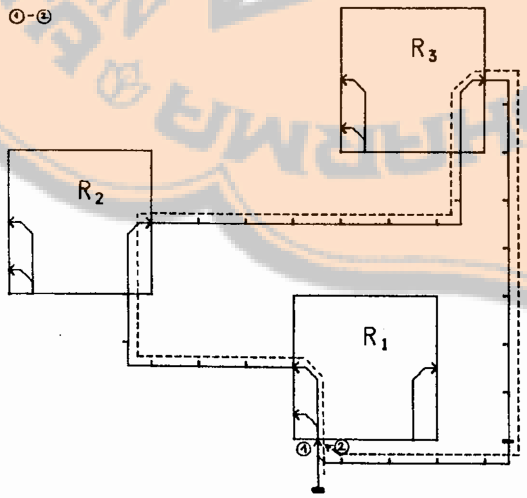
B 3.1k - 2 (Schritt 10-41)



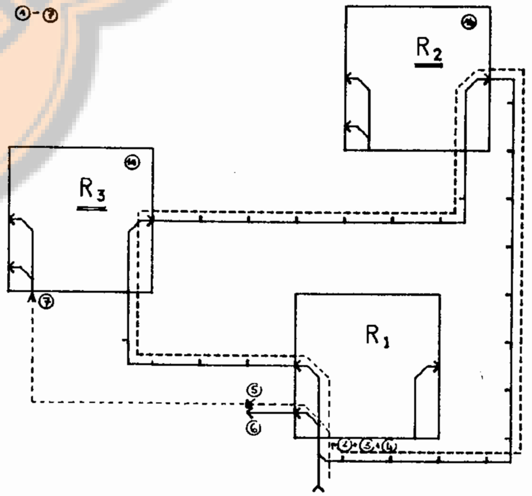
B 3.1k - 3 (Schritt 42-55)



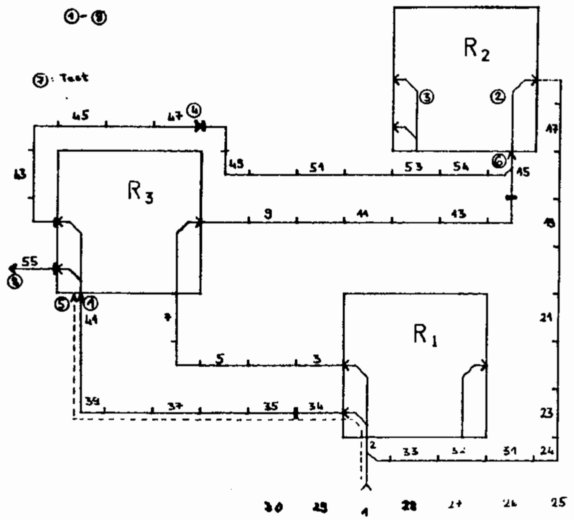
B 3.1K - 4 (Schritt 56-63)

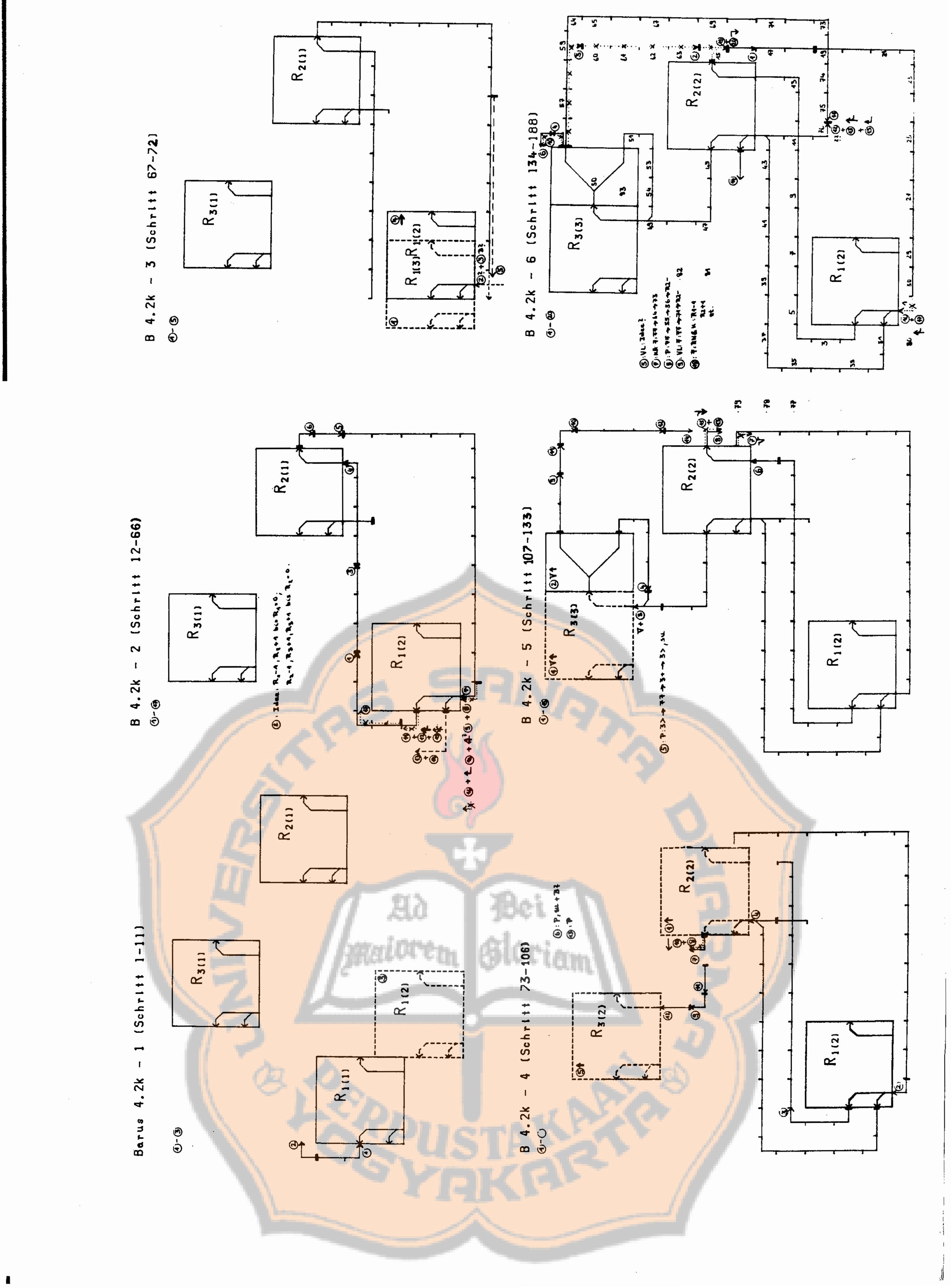


B 3.1K - 5 (Schritt 64-67)

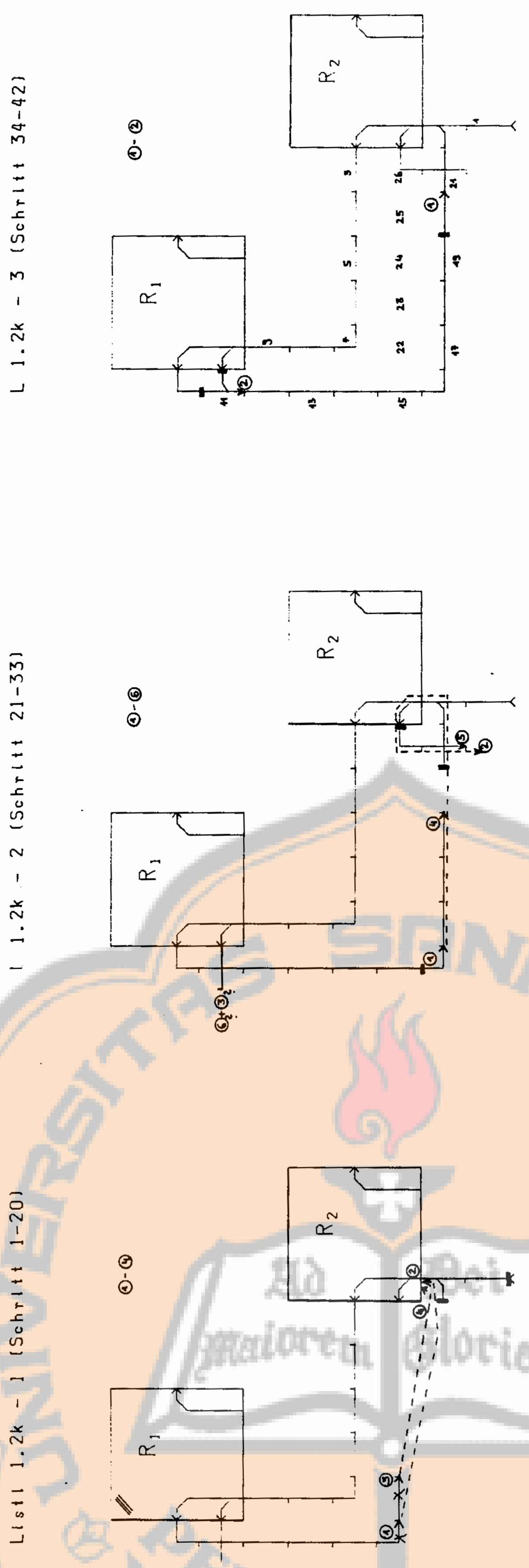


B 3.1k - 6 (Schritt 68-98)

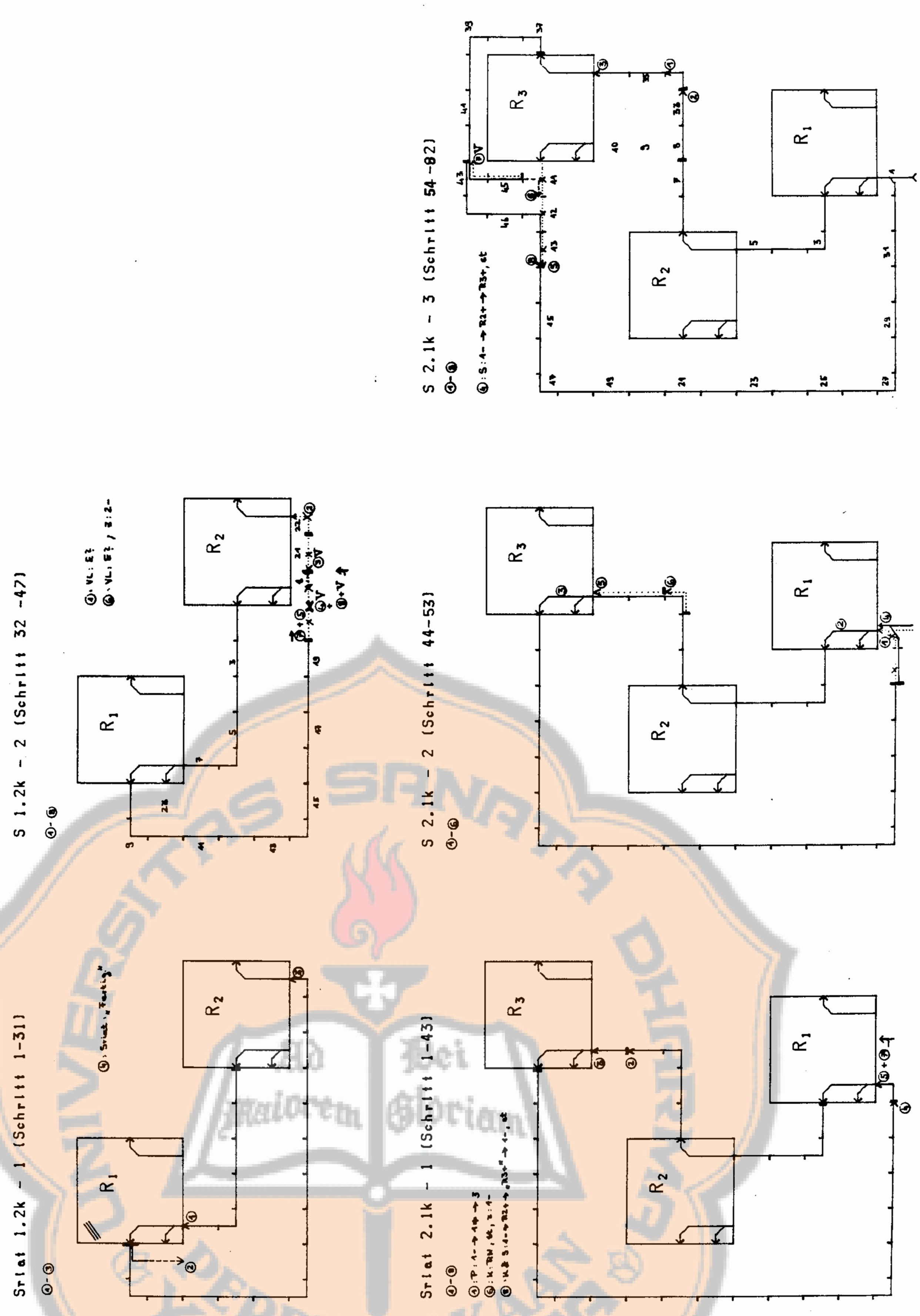


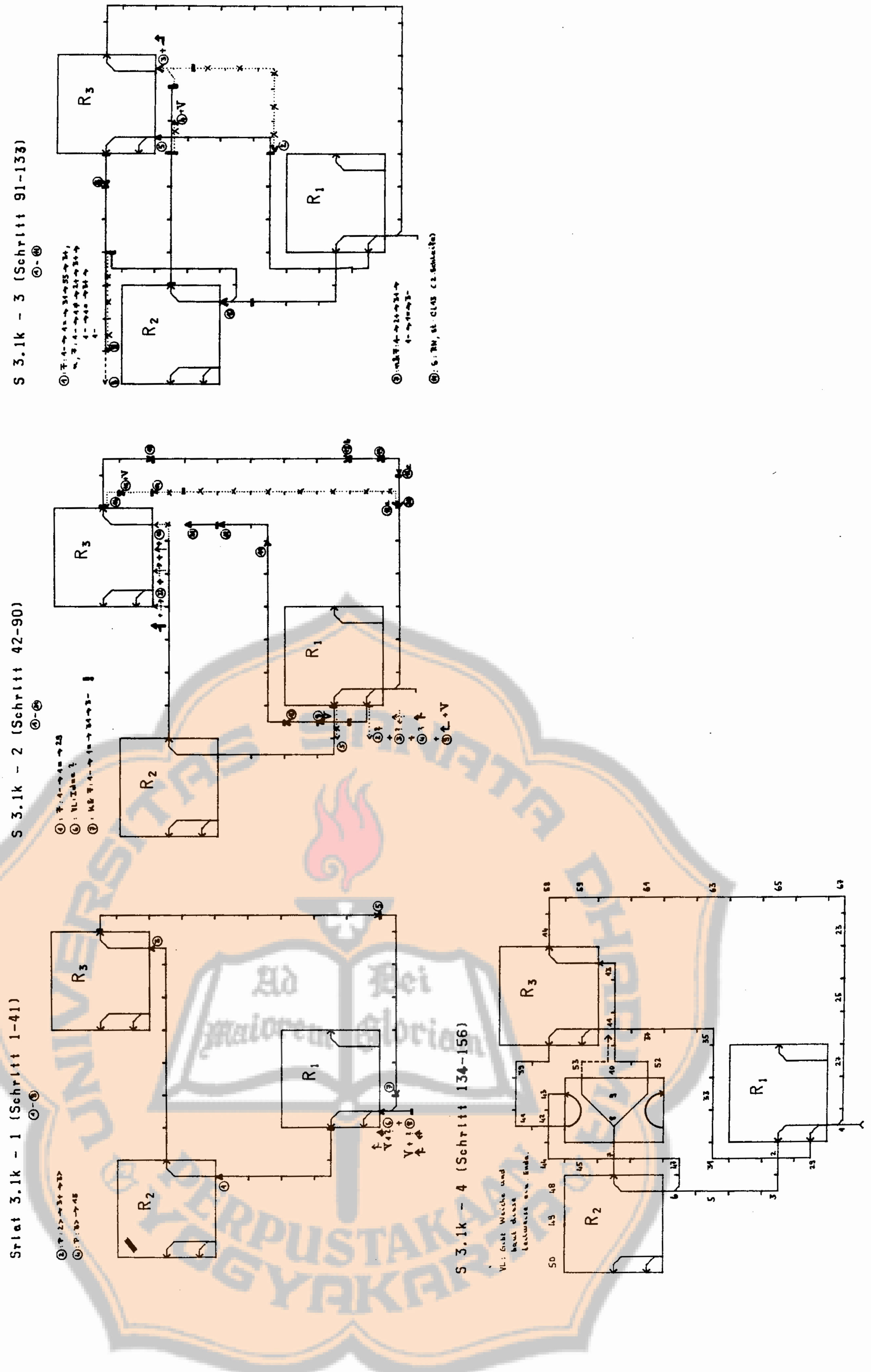


Barus 4.2k - 1 (Schritt 1-11)
B 4.2k - 2 (Schritt 12-66)
B 4.2k - 3 (Schritt 67-72)
B 4.2k - 4 (Schritt 73-106)
B 4.2k - 5 (Schritt 107-133)
B 4.2k - 6 (Schritt 134-188)



L 1.2k - 3 (Schritt 34-42)
R1
R2
l 1.2k - 2 (Schritt 21-33)
R1
R2
Listl 1.2k - 1 (Schritt 1-20)
R1
R2


Sriat 1.2k - 1 (Schritt 1-31)
S 1.2k - 2 (Schritt 32 -47)
Sriat 2.1k - 1 (Schritt 1-43)
S 2.1k - 2 (Schritt 44-53)
S 2.1k - 3 (Schritt 54-82)
R1
R2
R3


S 3.1k - 1 (Schritt 1-41)
S 3.1k - 2 (Schritt 42-90)
S 3.1k - 3 (Schritt 91-133)
S 3.1k - 4 (Schritt 134-156)
R1
R2
R3

Erklärung

Ich versichere hiermit, daß ich diese Arbeit selbständig angefertigt habe, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Dtellen der Arbeit, die ich im Wortlaut anderen Werken entnommen habe, mit genauer Angabe der Quellen gemacht habe.

Osnabrück, den 11.12.1985

J. Mayrand

....